

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année scolaire 1930-1931 — N° 260

L'acidité du sol des prairies et ses conséquences

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 2 Juin 1931

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Robert BERTHEUIL

Né le 11 Mai 1895 à LYONS-LA-FORÊT (Eure)



LYON

BOSC Frères, M. et L. RIOU

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

1931

**L'ACIDITÉ DU SOL DES PRAIRIES
ET SES CONSÉQUENCES**



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année scolaire 1930-1931 — N° 260

L'acidité du sol des prairies et ses conséquences

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 2 Juin 1931

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Robert BERTHEUIL

Né le 11 Mai 1895 à LYONS-LA-FORÊT (Eure)



LYON

BOSC Frères, M. et L. RIOU

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

1931

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'ÉCOLE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Directeur..... M. Ch. PORCHER.

Directeur honoraire. M. F.-X. LESBRE.

**Professeurs honoraires M. ALFRED FAURE, ancien Directeur
M. CADÉAC.**

PROFESSEURS

Physique et chimie médicale, Pharmacie, Toxicologie..	MM. PORCHER
Botanique médicale et fourragère, Zoologie médicale, Parasitologie et Maladies parasitaires.....	MAROTEL
Anatomie descriptive des animaux domestiques, Téra- tologie, Extérieur	TAGAND JUNG
Physiologie, Thérapeutique générale, Matière médicale	
Histologie et Embryologie, Anatomie pathologique, Inspection des denrées alimentaires et des établis- sements classés soumis au contrôle vétérinaire...	BAILL
Pathologie médicale des Equidés et des Carnassiers, Clinique, Sémiologie et Propédeutique, Jurispru- dence vétérinaire	AUGER
Pathologie chirurgicale des Equidés et des Carnas- siers, Clinique, Anatomie chirurgicale, Médecine opératoire	DOUVILLE
Pathologie bovine, ovine, caprine, porcine et aviaire. Clinique, Médecine opératoire, Obstétrique.....	CUNY
Pathologie générale et Microbiologie, Maladies micro- biennes et police sanitaire, Clinique.....	BASSET LETARD
Hygiène et Agronomie, Zootechnie et Economie rurale.	

PROFESSEUR AGRÉGÉ

Industrie et contrôle des produits d'origine animale..... TAPERNOUX

CHEFS DE TRAVAUX

MM. COLLET, JEAN-BLAIN.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

Président : M. le Dr Albert MOREL, Professeur à la Faculté de Médecine
Chevalier de la Légion d'honneur.

Assesseurs : M. DOUVILLE, Professeur à l'Ecole Vétérinaire.
M. A. TAPERNOUX, Professeur agrégé à l'Ecole vétérinaire.

La Faculté de Médecine et l'Ecole Vétérinaire déclarent que les
opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent
être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent
leur donner ni approbation ni improbation.



A MA FEMME

A MES PARENTS

A MES BEAUX-PARENTS

A TOUS LES MIENS

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE DOCTEUR ALBERT MOREL

Professeur à la Faculté de Médecine

Chevalier de la Légion d'honneur

A MONSIEUR LE PROFESSEUR DOUVILLE

A MONSIEUR LE PROFESSEUR TAPERNOUX

A MES MAÎTRES

L'ACIDITÉ DU SOL DES PRAIRIES ET SES CONSÉQUENCES

Depuis quelque temps, la notion de réaction des sols ayant pris une grande importance, par suite de l'action qu'elle exerce sur la fertilité du sol, nous avons pensé qu'une thèse qui développerait la question de l'acidité du sol des prairies, et de son influence sur la flore, la production végétale, sur la production laitière, sur l'élevage du bétail, sur le développement de certaines maladies, l'entérite chronique en particulier, serait d'actualité.

Les bonnes terres fertiles possèdent, pour la plupart, une réaction légèrement alcaline, due à la présence de calcaire ou carbonate de chaux.

RÔLE DU CARBONATE DE CHAUX.

1° *Action physique.* — Le carbonate de chaux se dissout dans l'eau chargée d'acide carbonique; il coagule l'argile et l'humus sous forme d'humate de chaux. C'est donc grâce à lui que ces derniers agglomèrent les particules du sol en agrégats plus ou moins poreux et faciles à émietter, ce qui rend la terre meuble et perméable à l'air et à l'eau.

2° *Action chimique.* — Il joue un rôle d'intermédiaire entre les engrais et le sol, en leur faisant prendre la forme la plus favorable à leur utilisation par les plantes.

3° *Action physiologique.* — Par suite de l'alcalinité qu'il communique au sol, il engendre un milieu favorable au développement des actions microbiennes dont la terre arable est le siège, en particulier à la nitrification des matières organiques azotées, et à la fixation de l'azote atmosphérique par des bactéries spéciales (azotobacters).

CAUSES DE LA DÉCALCIFICATION.

La principale cause de la décalcification est la solubilité du carbonate de chaux, dans l'eau chargée d'acide carbonique. Il se trouve alors entraîné dans les couches profondes par les eaux d'infiltration. Plus un sol sera fumé, plus il renfermera d'acide carbonique provenant de la combustion des matières organiques, et plus les eaux de pluie dissolveront le calcaire sous forme de bicarbonate de chaux.

M. Brioux, Directeur de la Station Agronomique de la Seine-Inférieure, estime qu'il peut ainsi s'en perdre, chaque année, sous le climat normand, 400 kilogs par hectare.

Une deuxième cause, c'est l'application d'engrais salin : sulfate d'ammoniaque, sels de potasse, nitrate de soude qui, par suite de doubles décompositions, mobilisent environ leur propre poids de calcaire.

D'après M. Brioux, en totalisant ces diverses causes de déperdition de carbonate de chaux, on a trouvé qu'il s'en perd en moyenne annuellement, par les eaux d'infiltration, de 700 à 800 kilogs par hectare ; en culture intensive, cette perte peut atteindre 1.000 kilogs.

CONSÉQUENCES DE LA DÉCALCIFICATION.

Lorsque tout le calcaire a été entraîné dans les couches profondes du sol, sous forme de bicarbonate, il reste encore des sels de chaux neutres dans les couches superficielles, mais ces sels (sulfates, nitrates, silicates, humates), généralement en quantité suffisante pour assurer aux plantes de la chaux alimentaire, sont incapables de saturer les acides organiques provenant de l'oxydation de l'humus, ou l'acide nitrique provenant de la nitrification des matières organiques azotées. La réaction du sol, qui était primitivement alcaline, devient alors neutre, puis acide. Si l'on n'apporte pas d'amendements, cette acidité se développe de plus en plus, et les effets nuisibles de la décalcification apparaissent. L'argile se décoagule, le sol devient de moins en moins perméable, et de plus en plus difficile à travailler. Le pouvoir absorbant du sol, vis-à-vis des engrais, est diminué ; ces derniers sont de moins en moins bien utilisés ; la fixation de l'azote atmosphérique s'arrête, et la nitrification se ralentit, à tel point que les plantes peuvent arriver à manquer d'azote assimilable. La végétation subit également les effets de l'acidité. La petite oseille, les renouées, la matricaire, le chrysanthème des moissons, toutes plantes calcifuges apparaissent et se développent au détriment des bonnes espèces : luzerne, trèfles blanc et violet, minette qui, peu à peu, périssent et disparaissent.

D'après M. Brioux, la proportion des sols décalcifiés est beaucoup plus importante qu'on ne le suppose généralement, et, en Seine-Inférieure, il a trouvé que la moitié des terres de limon du Pays de Caux pré-

sentaient une réaction acide ; le carbonate de chaux y a complètement disparu.

CAS DES PRAIRIES.

En ce qui concerne les prairies, la proportion des sols acides est encore plus élevée. L'humidité du sol, combinée avec sa mise en herbe, joue un rôle important dans l'acidification, car la décalcification naturelle s'y produit également, mais les causes d'acidification sont encore plus élevées que dans les terres labourables, par suite de l'accumulation des matières organiques et des produits de leur décomposition.

En effet, l'humidité excessive qui refroidit le sol et entrave son aération, est cause d'un ralentissement notable des oxydations microbiennes, ralentissement qui est encore accru du fait que le sol des prairies n'est pas soumis à des façons culturales ; les débris organiques ne s'y décomposent que lentement, et les humates formés, dont la décomposition est incomplète, s'accumulent peu à peu. En sol décalcifié, l'humus ne sera plus neutralisé, et l'acidité du milieu s'accroît assez vite.

C'est ainsi qu'on arrive, lorsque le niveau des eaux souterraines se maintient trop près de la surface du sol, à la formation des tourbes qui sont constituées par les déchets accumulés et plus ou moins décomposés de tous les détritrus végétaux résultant de la végétation naturelle des prairies.

MODIFICATION DE LA FLORE DES PRAIRIES ACIDES.

Lorsque le sol des herbages a acquis une acidité suffisante, leur flore se modifie suivant le degré d'acidité.

Les légumineuses disparaissent petit à petit, d'abord le trèfle violet et la lupuline qui sont plus sensibles que le trèfle blanc qui persiste pendant un certain temps ; des graminées grossières les remplacent, telle la houlque laineuse. Dans les points où l'eau séjourne trop près de la surface apparaissent les carex, les joncs, les menthes.

Besoin en chaux des sols acides

Triage des sols acides

TECHNIQUE DES PRÉLÈVEMENTS.

Prendre dans chaque herbage, ou dans chaque pièce de terre à analyser, quatre échantillons à égale distance du centre et des clôtures ou limites. Se servir d'une bêche, enlever l'herbe et enfoncer la bêche le plus loin possible, à 30 centimètres au moins, mettre chaque prélèvement dans un sac, bien mélanger les quatre prélèvements, et prendre, sur ce mélange, une quantité d'environ 800 grammes à 1 kilog, pour l'expédier au laboratoire.

C'est sur ce mélange que portera l'analyse qui peut être faite par différentes méthodes.

Nous ne passerons pas en revue toutes les méthodes qui ont été proposées, nous nous bornerons à étudier les deux méthodes suivantes, qui se complètent l'une l'autre, et qui sont d'une exécution simple et rapide. Elles fournissent des indications aussi nettes que possibles.

1° *Méthode Comber.* — Dans un tube à essais, on introduit 2 à 3 grammes de terre sèche tamisée et

5 cm³ d'une solution alcoolique de sulfocyanure de potassium à 4 %; on bouche et l'on agite fortement à plusieurs reprises, puis on laisse déposer pendant une dizaine de minutes, jusqu'à ce que le liquide surnageant le dépôt de terre soit limpide.

L'on peut alors estimer approximativement le degré d'acidité, d'après la coloration du liquide.

Le liquide reste incolore pour les sols alcalins ou neutres.

Pour les sols acides, la coloration varie du rose pâle au grenat foncé, suivant le taux d'acidité.

La coloration observée est due à la présence, dans les sols acides, d'une petite quantité de sels de fer solubles, sels qui donnent, avec le réactif, du sulfocyanure ferrique de couleur rouge.

La limite de sensibilité de la méthode Comber correspond à une acidité très faible d'environ 0,10 à 0,15 pour 1.000.

Tous les sols donnant une coloration avec cette méthode sont donc acides et ont besoin d'amendements calcaires.

2° Méthode au rouge de phénol et au bleu de bromothymol. — Cette méthode, plus sensible que la précédente, la complète.

Dans un tube à essais, on introduit quatre grammes de terre sèche tamisée et 10 cm³ d'eau distillée bouillie ; on agite vigoureusement pendant une demi-minute, puis l'on ajoute 10 gouttes de la solution (solution aqueuse de rouge de phénol à 0,02 % ou à 0,05 % de bleu de bromothymol). On mélange sans trop agiter, et on laisse reposer un certain temps.

Lorsque le réactif employé est le rouge de phénol, les sols acides colorent le liquide en jaune, les sols neutres donnent une teinte saumon qui passe au rose plus ou moins vif pour les sols alcalins.

Le bleu de bromothymol vire du jaune terres acides au bleu franc terres alcalines ; son demi-virage correspond à la neutralité absolue.

PRÉPARATION DES SOLUTIONS.

Les colorants ne sont pas employés à l'état libre, mais sous forme de leur sel neutre de soude.

On broie, dans un petit mortier en verre, 0 gr. 1 de la matière colorante en poudre, avec un peu d'eau distillée bouillie, et l'on ajoute 5 cc, 7 de soude à N/20 pour le rouge de phénol, ou 3 cc, 2 pour le bleu de bromothymol ; on broie, à nouveau, pour qu'il ne reste aucun grumeau, et l'on transvase dans un ballon gradué de 500 cm³ pour le rouge de phénol, ou de 200 cm³ pour le bleu de bromothymol ; on complète avec de l'eau distillée, fraîchement bouillie, pour la priver de CO². On conserve les solutions dans des flacons en verre neutre.

Ces deux méthodes colorimétriques, d'un emploi facile, permettent de faire, même à la ferme, le triage des sols, et de reconnaître si un sol est acide, neutre ou alcalin.

DOSAGE DE L'ACIDITÉ OU ÉVALUATION DU BESOIN EN CHAUX.

Les sols reconnus acides par une des méthodes précédentes, peuvent être étudiés au point de vue de la quantité d'acidité, et de l'intensité de cette dernière.

La quantité de chaux nécessaire pour neutraliser l'acidité est fonction de la quantité de matières acides; tandis que les effets caractéristiques de l'acidité, sur les actions microbiennes, et la fertilité sont en rapport étroit avec l'intensité de l'acidité que l'on exprime par un indice particulier : p.H.

De nombreuses méthodes ont été préconisées pour la détermination du besoin en chaux des sols.

Pour beaucoup de terres, l'analyse ordinaire, qui consiste à déterminer le besoin en chaux par le dosage de la chaux soluble dans les acides, est insuffisante.

Certaines terres sableuses peuvent encore avoir une réaction légèrement alcaline avec une dose de chaux variant de 1 à 1,5 % ; au-dessous de 1 %, elles sont acides.

Les terres de limon des plateaux, ainsi que les terres d'argile à silex, sont déjà acides, alors qu'elles renferment encore 3 à 5,5 % de chaux.

Certaines bouveries du Pays de Bray, très riches en acide phosphorique, peuvent avoir une acidité élevée, alors que leur teneur en chaux soluble dans l'acide azotique concentré varie de 5 à 15 %.

D'après M. Brioux, la plus pratique est la méthode suivante :

MÉTHODE HUTCHINSON-MAC LEMAN :

Cette méthode consiste à agiter, pendant trois heures, en atmosphère carbonique, 15 gr. de terre tamisée et sèche avec 300 cm³ d'une solution titrée N/50 de bicarbonate de chaux. On filtre ensuite, et sur 200 cm³ du filtrat correspondant à 10 gr. de terre, on

titre l'alcalinité restante en utilisant, comme indicateur, le bleu de bromophénol (3 gouttes d'une solution à 0,5 %).

La différence avec le titre primitif représente la quantité de carbonate de chaux fixée par 10 gr. de terre. On exprime les résultats en carbonate de chaux ou mieux en CaO fixée par kilog. On peut évaluer, avec une approximation suffisante, le besoin en chaux par hectare, en admettant que la couche arable, sur une épaisseur de 0,18 à 0,20 pèse environ 2.500 tonnes par hectare.

M. Brioux a comparé les résultats fournis par cette méthode avec ceux donnés par la méthode électrométrique des courbes de saturation, qui est d'application délicate. Pour les acidités moyennes, les résultats obtenus sont très voisins ; pour les terres très humifères, les chiffres donnés par la méthode Hutchinson sont un peu trop faibles.

MÉTHODE ÉLECTROMÉTRIQUE DES COURBES DE SATURATION.

Des prises de 10 grammes de terre séchée à l'air et tamisée sont introduites dans des tubes à essais en verre neutre, avec un volume toujours égal de 50 cm³ d'un mélange d'eau distillée, fraîchement bouillie, et de quantités croissantes d'eau de chaux titrée ; on place les tubes, bouchés au caoutchouc, à l'agitateur rotatif pendant une heure, et l'on détermine la concentration en ions H. de la suspension du sol, à l'aide de l'électrode à hydrogène. Pour tracer les courbes de saturation, on porte les volumes d'eau de chaux en abscisses et les p.H. successifs en ordonnées. En abais-

sant une perpendiculaire du point où la courbe coupe la ligne horizontale partant du point $p.H. = 7$, on détermine facilement, sur la ligne des abscisses, la quantité exacte d'eau de chaux permettant d'amener la terre examinée à la neutralité.

On obtient ainsi le besoin en chaux électrométrique.

INTENSITÉ DE L'ACIDITÉ. — NOTIONS DE LA CONCENTRATION EN IONS HYDROGÈNE ET DU $p.H.$

Notion du $p.H.$ — La nouvelle notation des $p.H.$ que l'on rencontre maintenant dans toutes les publications ayant trait à l'étude des sols, est basée sur la théorie des ions. Elle nous renseigne, non sur la quantité pondérale d'acide que peut renfermer un milieu mais sur l'intensité, ou mieux, sur la portion active de l'acidité de ce milieu ; elle s'applique également à l'appréciation des variations d'alcalinité. On sait que le caractère général des acides est la présence dans leur molécule d'une certaine quantité d'hydrogène $H.$ remplaçable par un métal, avec formation de sels.

Or, quand un acide est en dissolution dans l'eau, ses molécules se dissocient partiellement, en mettant en liberté, sous forme de particules infiniment petites, chargées d'électricité positive, que l'on désigne sous le nom de ions, une plus ou moins grande proportion de cet hydrogène déplaçable.

Plus un acide est fort, énergique, plus, à dilution égale, ses solutions renferment d'ions $H.$ en liberté. Par contre, plus un acide est faible, moins ses solutions renferment d'ions d'hydrogène libres, c'est-à-dire moins ses molécules sont dissociées.

Les acides sulfurique, chlorhydrique, azotique sont

des acides forts, les acides humiques du sol, l'acide acétique du vinaigre, l'acide carbonique sont des acides faibles. C'est du degré de dissociation des solutions acides, autrement dit de leur concentration en ions hydrogène que dépend leur intensité d'action, leur influence sur les phénomènes biologiques, sur les actions diastasiques, sur les fermentations microbiennes, ainsi que sur le développement des plantes.

Cette concentration en ions hydrogène des milieux s'exprime à l'aide d'un symbole particulier, que l'on appelle potentiel hydrogène ou p.H. Cette nouvelle notation des p.H., due au savant danois Sorensen, qui l'appliqua d'abord à l'étude des actions diastasiques, ne permet que d'évaluer et de comparer des acidités et des alcalinités faibles, assez voisines de la neutralité, analogues à celles que l'on rencontre dans l'étude des phénomènes vitaux.

On dispose, pour exprimer les résultats, d'une échelle de valeurs qui varie de 0 à 14.

p.H. = 0 correspond à l'acidité maximum, qui est celle d'une solution dite normale, d'acide chlorhydrique (36 gr. 5 d'H.cl par litre).

p.H. = 14 correspond à l'alcalinité maximum (solutions normales de bases fortes). Au milieu de l'échelle p.H. = 7 correspond à la neutralité absolue, qui est celle de l'eau distillée pure. De p.H. = 0 à p.H. = 7, les acidités vont en diminuant ; tandis que de p.H. = 7 à p.H. = 14, les alcalinités vont en augmentant.

DÉFINITION DU P.H. À L'AIDE DE LA CONCENTRATION EN IONS H.

Nous avons vu que la théorie des ions explique tous les phénomènes, dont les solutions aqueuses sont le siège ; en admettant que dans ces solutions l'eau est partiellement décomposée en ions H. et en ions OH.



Cette décomposition est infime ; il y aura, par exemple, 1 gramme d'hydrogène dans cent millions de litres de la solution, et ce seront ces ions libres, semblant perdus dans la masse, qui interviendront dans les phénomènes physiques (électrolyse, par exemple), dans les phénomènes chimiques. La nature et l'intensité de ces phénomènes va dépendre du nombre de ces ions H. et OH. L'ionisation d'une solution sera caractérisée par les concentrations en ions H. et en ions OH. que l'on exprimera en molécules grammes par litre de solution.

Grâce à une propriété essentielle des solutions ionisées, un seul de ces chiffres, c.H. suffira, l'autre pouvant s'en déduire immédiatement par le calcul :

$$\begin{array}{rcl} \text{A } 23^{\circ} \text{ C. OH.} & = & 1 \\ & & \hline & & 14 \\ & & 10 \quad \times \text{ c.H.} \end{array}$$

La concentration en ions H. va servir à caractériser l'acidité, l'alcalinité ou la neutralité.

La neutralité sera l'état dans lequel $\text{c.H.} = \text{c. OH.}$ Cette neutralité est réalisée par l'eau très pure, dont la conductibilité électrique est de l'ordre 10^7 .

On aura $c.H. = c. OH = 1$

107

Dès qu'une solution est acide, la concentration en ions H. croît. Cette concentration est utile à connaître jusqu'au voisinage de $c.H. = 1/10$ correspondant à une solution décimale d'acide fort.

Dès qu'une solution est alcaline, la concentration en ions OH. décroît à partir de 1 et on utilise ce nombre

107

jusqu'au voisinage de $c.H. = 1$

13

10

ce qui correspond à :

$c. OH =$	1	$=$	1
	14		10
	10	x	c.H.

ou à une solution décimale de base forte. On pourrait donc exprimer l'activité acide ou basique des solutions diluées par leur c.H.

Mais ces nombres sont sous forme de fractions à gros dénominateurs :

1	4.5
10 ⁴	10 ⁸

difficiles à manipuler et à retenir. On a préféré remplacer ces fractions par un nombre simple qui leur corresponde : leur cologarithme, et qu'on obtient très facilement en soustrayant de l'exposant du dénomina-

teur de la fraction un deuxième nombre qu'on lit directement dans une table, en regard du numérateur.

Le p.H. n'est autre que le cologarithme de la concentration en ions hydrogène.

Ainsi, si nous voulons trouver le cologarithme de 4.5

10⁸

nous nous reportons à la table ci-dessous, et nous lisons en face de 4.5 le nombre 0,65. Cologarithme de 4.5 = 8 — 0,65 = 7,35.

10⁸

	—,0	—,1	—,2	—,3	—,4	—,5	—,6	—,7	—,8	—,9
1	0.00	0.04	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.25	0.28
2	30	32	34	36	38	40	41	43	44	46
3	47	49	50	52	53	54	55	57	58	59
4	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
5	69	70	71	72	73	74	75	75	76	77
6	78	78	79	80	80	81	82	82	83	84
7	84	85	86	87	87	87	88	88	89	90
8	90	90	91	92	92	93	93	94	94	95
9	95	96	96	97	97	98	98	98	99	99
10	1.00	1.004	1.004	1.005	1.005	1.005	1.006	1.007	1.007	1.008

Mesure du p. H.

CONDITIONS DE CETTE MESURE.

Avant toute mesure, il y a lieu de prendre un certain nombre de précautions. Il faut noter que la moindre impureté introduite, par négligence, dans les solutions à essayer, peut modifier le p.H. dans des proportions variables. Ainsi, il faut surveiller l'atmos-

phère du laboratoire : un flacon d'ammoniaque ouvert à proximité de la solution, en fait immédiatement changer le p.H. On évitera de laisser échapper le gaz carbonique contenu dans la solution, soit au contraire d'en introduire une petite quantité ; à cet effet, on ne soufflera pas dans les pipettes.

On contrôlera la neutralité de l'eau employée, soit pour le lavage, soit pour les dilutions.

La neutralité de tous les récipients, pipettes, burettes, compte-gouttes, etc., sera rigoureusement vérifiée.

Différentes méthodes de mesure

Nous citerons parmi les différentes méthodes employées :

1° La méthode électrométrique ;

2° La méthode colorimétrique.

1° MÉTHODE ÉLECTROMÉTRIQUE.

a) *Principe de cette méthode.* — Une électrode d'un métal pur se trouvant plongée dans la solution fortement diluée d'un de ses sels, il s'établit, entre l'électrode et la solution, une différence de potentiel qui dépend de la concentration en ions du métal de l'électrode. Si l'on imagine une électrode constituée par de l'hydrogène et plongée dans une solution aqueuse diluée, on conçoit que l'hydrogène étant un métal, il s'établira entre cette électrode et la solution aqueuse, une différence de potentiel dépendant de la concentration de la solution en ions hydrogène, et, par conséquent, du p.H.

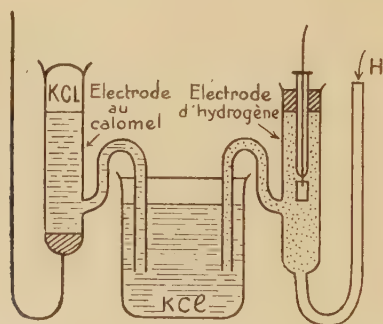
La relation entre cette différence de potentiel et le p.H. peut s'exprimer ainsi :

$$e = a + b \text{ p.H.}$$

a et b étant des constantes.

Si donc on peut constituer l'électrode d'hydrogène en question, et mesurer e , on en déduira immédiatement le p.H.

b) *L'électrode d'hydrogène.* — Pour réaliser la lame d'hydrogène, on recouvre par électrolyse une lame de platine d'un dépôt uniforme de noir de platine, puis on sature d'hydrogène ce dépôt ; c'est ce qu'on appelle « platiner l'électrode ». Cette opération se fait très facilement dans un appareil spécial. Il suffit de plonger dans la solution diluée une électrode ainsi constituée, et de faire barboter dans la solution de l'hydrogène pur, pour que la différence de potentiel entre l'électrode et la solution, dépende uniquement du p.H. de cette dernière.



c) *Pile de concentration.* — Afin de mesurer e , différence de potentiel entre l'électrode d'hydrogène et la solution dont on cherche le p.H., on constitue la

pile suivante, dans laquelle l'électrode d'hydrogène est un des pôles.

Electrode d'hydrogène — Solution de p.H. inconnu — Solution saturée d'un électrolyte (K cl.) — Solution normale ou décijnormale de K cl — Electrode au calomel (nous verrons plus loin ce que c'est). On mesure la force électromotrice E de la pile ainsi constituée. On sait que E. est égal à la somme des différences de potentiel : Hydrogène — solution à l'essai et solution de Kcl et électrode au calomel.

$$E = A + e = A + B \text{ p.H.}$$

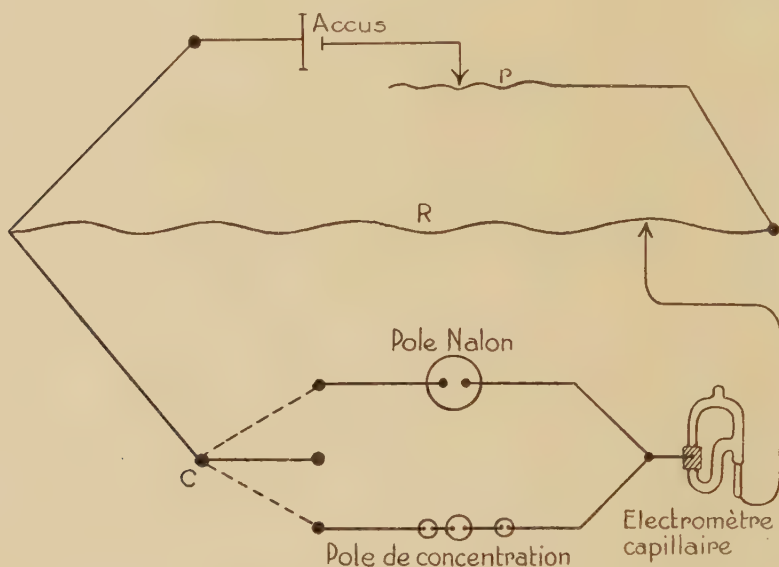
$$\text{p.H.} = E - A$$

B

d) *Mesure de la force électromotrice.* — Par suite de phénomènes de polarisation, la force électromotrice que l'on veut mesurer ne se révèle que pendant un temps très court, dès qu'elle est directement en circuit sur un appareil de mesure. Il ne faut donc pas que la pile de concentration puisse débiter pendant la mesure, ou tout au moins au moment où l'on fait la lecture. On emploie dans ce but la méthode d'opposition.

La force électromotrice, voisine de 2 volts d'un accumulateur, est étalée le long d'une résistance variable R. On commence, grâce au commutateur C., à lui opposer, pendant des temps très courts, une pile étalon de Weston, et en faisant varier R. après chaque opposition, à obtenir un courant nul dans un électromètre capillaire placé dans le circuit de la pile étalon. On remplace alors, à l'aide de C. la pile étalon par

la pile dont on veut mesurer la force électromotrice, et en faisant varier R . après des oppositions successives de cette pile et de l'accumulateur, on ramène à zéro l'électromètre capillaire.



Des deux valeurs de R . on déduit la force électromotrice cherchée : E .

En réalité, on se sert d'un potentiomètre de précision qui permet, aussitôt après la manipulation précédente, de lire directement E . en millivolts, les fractions de millivolts s'appréciant sur l'électromètre.

Calculs :

Il suffit de porter E , A et B dans la formule

$$\frac{p.H. E - A}{B}$$

A et B se lisent dans la table ci-dessous, dès que la température et la concentration de la solution de Kcl contenue dans l'électrode au calomel, sont connues.

Tempér. cg.	A. en volts			B
	Kcl n/10	Kcl n	Kcl saturé	
15°	0,3381	0,2852	0,2525	0,0571
16°	0,3379	0,2849	0,2517	0,0573
17°	0,3378	0,2845	0,2509	0,0575
18°	0,3377	0,2842	0,2503	0,0577
19°	0,3376	0,2838	0,2495	0,0579
20°	0,3375	0,2835	0,2488	0,0581
21°	0,3374	0,2832	0,2482	0,0583
22°	0,3373	0,2829	0,2475	0,0585
23°	0,3372	0,2826	0,2468	0,0587
24°	0,3370	0,2822	0,2463	0,0589
25°	0,3369	0,2819	0,2458	0,0591
26°	0,3368	0,2816	0,2453	0,0593
27°	0,3367	0,2812	0,2448	0,0595
28°	0,3366	0,2809	0,2443	0,0597
29°	0,3365	0,2805	0,2438	0,0599
30°	0,3364	0,2802	0,2434	0,0601

b) TECHNIQUE CLASSIQUE.

1° *Platinage des électrodes.* — L'électrode d'hydrogène comprend un récipient en relation avec 2 gardes hydrauliques et un siphon qu'on peut isoler à l'aide d'un robinet. Le bouchon du récipient A est rodé et porte l'électrode de platine (lame de platine suspendue par un fil).

Pour platiner cette électrode, on commence à la frotter avec du sable très fin pour la dépolir, on la lave à l'eau, on la plonge dans l'acide sulfurique chaud, et on rince à l'eau distillée, puis on la porte dans un appareil spécial.

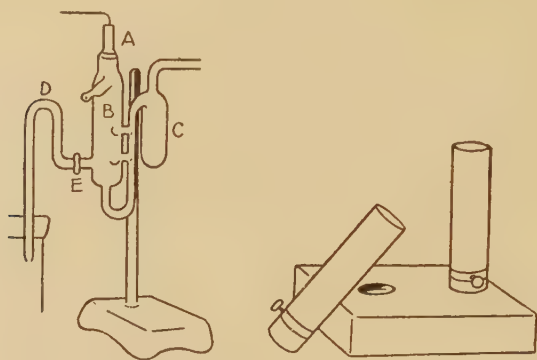
Dans l'un des vases on a mis 20 cc. du liquide suivant :

Eau, 100 cc.;

Acide chloroplatinique cristallisé, 3 gr. ;

Acétate de plomb, 0 gr. 02.

L'autre vase renferme 20 cc. d'eau acidulée avec de l'acide sulfurique.



On relie l'électrode de platine au pôle négatif d'une batterie d'accumulateurs de 4 volts, les bornes des deux petits vases sont reliées au positif.

On plonge l'électrode dans le premier vase pendant 10 minutes environ, on la retourne plusieurs fois, afin que le noir y adhère bien. On rince ensuite l'électrode à l'eau distillée, de manière à enlever toute trace de plomb et de platine. On sature alors l'électrode en s'en servant comme cathode pour l'électrolyse de l'acide sulfurique étendu, contenue dans le deuxième vase.

L'électrode est lavée à l'eau distillée ; on graisse légèrement sa partie rodée à la vaseline et on la met en place sur A.

La verrerie de l'électrode a été lavée soigneusement au mélange sulfochromique et à l'eau distillée, le robinet a été dégraissé à l'éther. On recouvre le bouchon de l'électrode de cire d'abeille, et on remplit l'élec-

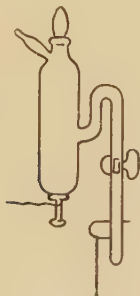
trode d'eau distillée à l'aide de l'ajutage de C. en aspirant par B. le robinet étant fermé.

L'électrode est prête à servir.

2° *Préparation de l'électrode au calomel.* — Cette électrode renferme une des solutions suivantes :

Une solution normale de chlorure de potassium

—	n/10	—	—
—	saturée	—	—



Nous ne décrivons que la préparation d'une électrode au K cl. n, les préparations de ces électrodes étant identiques.

Le vase de l'électrode est lavé soigneusement à l'acide sulfochromique et à l'eau distillée. On introduit au fond 4.5 cc. d'une solution à 1 % de nitrate mercurieux acidulée avec quelques gouttes d'acide nitrique pur. La borne de l'électrode est reliée au pôle négatif d'un élément d'accumulateur de 2 volts, tandis qu'on trempe, dans la solution, un fil de platine relié au pôle + de l'accumulateur. On fait passer le courant pendant une minute. Au bout de ce temps, le platine de l'électrode s'est recouvert d'une couche grise d'amalgame de mercure. Le vase est rincé à l'eau distillée, égoutté et séché, la tête en bas, dans un courant d'air sec, chaud et filtré.

On prépare une solution normale de chlorure de potassium chimiquement pur. Il faut pour cela dissoudre 74 gr. 523 de chlorure de potassium, chimiquement pur, dans la quantité d'eau nécessaire pour faire exactement un litre de solution.

On prend alors quelques grammes de calomel chimiquement pur, on lui ajoute une goutte de mercure chimiquement pur, distillé dans le vide, 1 cc. de la solution de K cl. n, et on fait une pâte qu'on malaxe bien dans un mortier.

On verse au fond du vase 3 cc. de mercure chimiquement pur qui doit recouvrir complètement le platine de l'électrode. Avec une petite spatule en verre, on prélève un peu de la pâte au calomel, mercure, Kcl/n, qu'on étale uniformément sur la surface du mercure. Il suffit d'en avoir une couche de 1 à 2 ^m/_m d'épaisseur. On achève de remplir l'électrode avec la solution Kcl/n. On la bouche et l'on ouvre le robinet qui ne doit jamais être graissé. Le liquide s'écoule par le tube latéral. On vérifie qu'il ne reste aucune bulle d'air dans ce tube ; à ce moment, on ferme le robinet. L'électrode est prête à fonctionner.

3° *Montage de la pile*. — On vide l'électrode à l'hydrogène de l'eau distillée ou du liquide précédemment utilisé qu'elle contient, en aspirant par le tube du laveur B. au moyen d'une trombe à eau, le robinet E. du siphon étant fermé.

On remplit ensuite l'électrode avec la solution à examiner, en plongeant le tube du laveur C. dans cette solution et en continuant à aspirer. On répète cette manœuvre plusieurs fois, de façon à bien laver l'électrode.

Ceci fait, on redresse l'électrode et on ouvre le robinet E. Le liquide pénètre dans le siphon et s'écoule par la pointe. On attend que cet écoulement ait cessé, et on ferme le robinet E. On fait alors passer dans l'électrode un courant d'hydrogène pur pendant 5 à 10 minutes par le laveur C. (cet hydrogène peut être fourni par un appareil de Kipp à zinc pur et acide sulfurique pur additionné d'un peu de sulfate de cuivre et étendu de son volume d'eau ; le gaz est lavé au permanganate à 2 %, avec une solution concentrée de sublimé, à la soude diluée 5 %, et enfin traverse une colonne de coton hydrophile. Juste avant l'arrivée au barboteur C., on place une pince qui permet d'obtenir une vitesse de 3 à 4 bulles de gaz par seconde).

On abaisse ensuite l'électrode de façon à ce que son siphon plonge dans l'électrolyte (solution saturée de chlorure de potassium) du vase de liaison qui est déjà en rapport avec l'électrode au calomel.

La pile est prête pour la mesure.

c) TECHNIQUES SPÉCIALES POUR LA MESURE DU p.H. DES SOLS.

La mesure du p.H. des sols se fait couramment à l'aide de l'électrode à quinhydrone de Veibel.

On agite 5 gr. de terre avec 20 gr. d'eau distillée bouillie avec quelques centigrammes de quinhydrone et on laisse décanter ce liquide dans l'électrode. Comme électrode de référence, on emploie également, pour remplacer l'électrode au calomel, une électrode au quinhydrone.

On constitue cette électrode de référence avec la solution suivante :

H cl 0,1 n. 10 cc.

K cl n. 9 cc.

étendue à 100 cc., qu'on sature de quinhydrone. Cette solution est versée dans un vase d'électrode au calomel dont le fil de platine n'a pas été amalgamé.

La pile de mesure est alors constituée par 2 électrodes à quinhydrone, l'électrode de Veibel servant d'électrode de référence.

Ayant mesuré E. de la pile au potentiomètre, le p.H. de la solution à analyser est :

$$p.H. = p.H. + E$$

$$\frac{—}{B}$$

p.H. étant le ph de la solution de l'électrode de référence de Veibel à 18° ph, = 2,04,

E. est + pour ph < 2,04

E. est — pour ph > 2,04

Pour maintenir le sol en suspension, on préfère souvent employer l'électrode de Knight qui est une électrode d'hydrogène de gros volume, animée d'un mouvement de va-et-vient.

2° MÉTHODE COLORIMÉTRIQUE.

La méthode colorimétrique est un peu plus simple, mais est moins précise que la précédente. Comme elle est peu employée pour l'examen du p.H. des sols, nous ne l'exposerons que succinctement.

a) *Indicateurs.* — Dans cette méthode, on repère le p.H. d'après la couleur que prend la solution étu-

diée en présence d'une très faible quantité d'un indicateur approprié.

Chaque indicateur ne convient que pour des p.H. compris entre des limites rapprochées. Pour le p.H. qui constitue la limite inférieure d'un tel intervalle, l'indicateur a une teinte bien déterminée et franche, qu'il garde si le p.H. diminue.

Pour le p.H. constituant la limite supérieure de l'intervalle, l'indicateur a une autre teinte déterminée, qu'il garde si le p.H. augmente. Entre ces deux limites, on peut obtenir toute une gamme de couleurs qui permettent de repérer les valeurs intermédiaires du p.H.

Pour parcourir toute la gamme des p.H. il faut évidemment plusieurs indicateurs.

Nous citerons les indicateurs de Clark et Lubs, et les indicateurs de Michaelis.

On peut mélanger plusieurs indicateurs, ce qui permet, si les colorations se complètent bien, d'étendre la zone d'exploration des p.H.

Il existe des mélanges appelés Indicateurs universels, qui permettent d'explorer toute la gamme des p.H. de 0 à 14.

b) MÉTHODES DE COLORIMÉTRIE.

Méthode des tampons. — Avant d'étudier cette méthode, nous dirons un mot de ce qu'on entend par tampon.

Le mélange d'un acide faible avec son sel alcalin a les propriétés qui caractérisent un tampon, à savoir :

1° De ne changer que dans une très faible proportion de p.H. quand on le dilue avec de l'eau pure.

2° D'avoir un p.H. plus résistant vis-à-vis des substances qui fixent les acides, qu'une solution non tampon ayant le même p.H.

3° Si l'on dilue un tampon avec de l'eau, son p.H. n'est pas sensiblement modifié, mais la résistance du p.H. (autrement dit l'action tampon) vis-à-vis de l'addition de substances fixant les acides, est diminuée.

Se propose-t-on de communiquer à une solution donnée un p.H. déterminé, pour cela, on lui ajoute un tampon ayant précisément le p.H. en question.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE LA DÉTERMINATION DU p.H.
PAR LES INDICATEURS A L'AIDE DES SOLUTIONS
TAMPONS.

Le principe de la méthode est le suivant :

On prépare à l'avance une série de solutions mères appropriées ; le mélange de ces solutions, en proportions variables, permettra d'obtenir au moment voulu des solutions tampons d'un p.H. déterminé.

Supposons que l'on veuille déterminer le p.H. d'une solution, on ajoute à cette dernière un indicateur approprié, puis on recherche quelle est la solution tampon (préparée en mélangeant entre elles les diverses solutions mères mentionnées ci-dessus) qui communique à l'indicateur la même teinte que la solution dont on recherche le p.H.

Le p.H. des diverses solutions tampons est soigneusement déterminé une fois pour toutes par la méthode électrométrique.

Le p.H. recherché est donné par la valeur du p.H. de la solution tampon qui communique à l'indicateur la même teinte que la solution donnée.

Cette méthode simple a un inconvénient : les solutions étalons de p.H. donné se conservent très peu de temps et sont délicates à préparer.

Méthode Bruère. — C'est pour obvier à cet inconvénient que le Pharmacien Colonel Bruère a remplacé ces gammes colorées instables, par des gammes stables, insensibles à la lumière et pouvant servir pendant plusieurs années.

Réactifs choisis :

Vert de bromocrésol.

Rouge de Méthyl.

Bleu de Bromothymol.

Rouge de Phénol.

Indicateur R.P.

1° Dans 1 cc. de la solution, on mettra 1 ou 2 gouttes de bromothymol.

Si le liquide se colore en jaune p.H. = 6, utiliser le rouge de méthyl.

Si le liquide se colore en jaune verdâtre, zone mixte, utiliser le bleu de bromothymol.

Si le liquide se colore en bleu, zone alcaline, utiliser le rouge de phénol.

2° Mesurer dans un tube neutre calibré et gradué : 5 cc. du liquide à examiner.

5 gouttes de l'indicateur choisi.

3° Si le liquide est incolore, on place, côte à côte, le tube et la série des tests colorés correspondant à l'indicateur choisi, et on lit le p.H. sur le tube qui donne la teinte la plus rapprochée avec le liquide essayé.

4° Si le liquide est coloré, on le porte dans le bloc

compensateur en disposant les tubes de la façon suivante :

En 1. — Eau distillée.

En 2. — Test coloré.

En 3. — Le liquide avec indicateur tel qu'il a été préparé.

En 4. — Le même liquide sans indicateur.

En faisant varier le test coloré, on trouve rapidement celui qui se rapproche le plus du tube 3 ; d'où le p.H. cherché.

Le compensateur est éclairé par réflexion de la lumière du jour sur une plaque d'opaline.

Méthode des doubles tubes de Gillespie. — Elle est basée sur le fait que la teinte prise par un indicateur pour un p.H. déterminé, situé entre les limites extrêmes de ses virages alcalin et acide, peut être obtenue par l'addition, dans des proportions définies, des deux teintes présentées par l'indicateur aux points extrêmes du virage.

L'appareil permet, sans qu'il soit nécessaire de préparer des tests colorés, de réaliser la teinte d'un virage donné, en superposant des couches variables des deux teintes extrêmes en question.

D'un côté, on a une couche d'épaisseur déterminée E1 du liquide additionné d'indicateur. De l'autre, on a deux couches, l'une de la solution alcaline virée l'autre de la solution acide virée, d'épaisseurs variables E2 E3, telles, par suite des dispositions de l'appareil, qu'on ait toujours :

$$E2 + E3 = \text{constante} = E1.$$

A l'aide d'un bouton, on fait varier à la fois E1 et E3,

de façon à obtenir dans une même lunette, égalité de teintes des 2 plages correspondant, l'une à la teinte du liquide viré, l'autre à la combinaison des virages alcalins et acides. On lit directement, sur une graduation, un chiffre en regard duquel on trouvera, dans une table ou sur une courbe jointe à l'appareil, le p.H. cherché.

p.H. des sols. — Le p.H. des sols varie de 3 à 9, et d'après les études effectuées jusqu'à ce jour, on peut les classer de la manière suivante :

p.H. de 3 à 4 : Terres infertiles, acidité exceptionnellement rencontrée.

p.H. de 4 à 5 : Forte acidité (nitrification et fixation de l'azote entravées).

p.H. de 5 à 6 : Acidité franche (l'activité bactérienne étant déjà réduite).

p.H. de 6.5 à

7.5 . Terres voisines de la neutralité (Fertilité).

p.H. de 7.5 à

8 Légère alcalinité.

p.H. de 8 à 9 : Forte alcalinité (Fertilité réduite).

Pour les terres labourables, l'acidité déterminée par la méthode Hutchinson et le p.H. correspondant, varient d'une façon sensiblement proportionnelle.

Pour les terres des prairies, l'acidité totale ou besoin en chaux paraît exagérée par rapport au p.H. Cela est dû à ce que le p.H. ne représente que la portion active de l'acidité totale ; portion qui sera d'autant plus faible que les matières acides, telles celles de l'humus, sont moins dissociées, et, par conséquent, moins acti-

ves. De plus, les colloïdes de l'argile et surtout les matières humiques possèdent la propriété de s'opposer aux brusques variations de la concentration en ions hydrogènes des solutions du sol ; elles agissent vis-à-vis de l'acidité active ou du p.H. à la manière de tampons et de régulateurs.

Il en résulte qu'à p.H. égal, les sols humifères exigent plus de chaux pour être neutralisés que les sols d'une teneur moyenne en humus et en argile.

Les recherches effectuées par M. Brioux, sur les sols acides, lui ont montré que pour faire varier de 0,1 le p.H. de 1 kg. d'une terre ordinaire de limon des plateaux, il faut 30 à 40 mmgr. de chaux, tandis qu'il en faut 90 à 95 pour une terre de prairie un peu humifère, et 520 mmgr. pour une tourbe.

Inversement, on pourra donc énoncer qu'à besoin en chaux égal, l'acidité du sol des herbages est sensiblement moins active et moins nuisible à la végétation que celle des terres labourables.

Provenance des terres	Méthode Comber couleur du liquide	Valeur du p. H	Acidité Hutchinson en CaO 0/00
Défrichement d'ajoncs	Rouge grenat opaque ..	3.7	3
Défrichement de fougères..	Rouge grenat.....	4.3	1.90
Terre d'herbage	—	4.5	1.55
—	—	4.9	1.45
—	Rouge cerise	5.2	1.00
—	—	5.5	1.10
Terre de labour	Rouge clair..	5.4	0.50
Terre d'herbage sableuse...	—	5.8	0.31
Terre de labour	Rose vif.....	6.	0.29
—	Rose faible	6.	0.24
—	Rose très pâle	6.3	0.17
—	—	6.3	0.12
—	—	6.5	0.05
—	Incolore.....	6.6	0.11
	—	6.8	0.06
	—	7.2	Néant

Il nous a paru intéressant de reproduire ci-dessus un tableau, emprunté à M. Brioux, montrant les résultats fournis par un certain nombre de sols d'acidité décroissante, avec, en regard, les dosages directs de l'acidité et les valeurs de p.H.

Méthode Daikuhara au K.cl. ou détermination de l'acidité d'échange.

Cette méthode permet d'évaluer l'acidité d'échange, c'est-à-dire celle qui est libérée quand on fait agir une solution d'un sel neutre d'acide fort, tel que le chlorure de potassium, sur une terre dont les complexes colloïdaux sont désaturés de bases, notamment de chaux.

Technique :

50 grammes de terre séchée à l'air et tamisée, sont agités pendant une heure avec 125 cc. d'une solution normale de K. cl. On filtre et on prélève 75 cc. du filtrat que l'on fait bouillir cinq minutes pour chasser Co^2 , et l'on titre en présence de phtaléine avec de la soude N/10. On peut ensuite évaluer les résultats en chaux et les ramener au kilog de terre.

Méthode à l'acétate de soude ou détermination de l'acidité hydrolitique.

Lorsque les sols sont peu acides, les échanges avec le chlorure de potassium ne sont plus sensibles ; on recourt alors à l'emploi d'un sel d'acide faible et de base forte, tel que l'acétate de soude, déjà partiellement dissocié en solution aqueuse ; ainsi, la base mise en liberté s'unit aux complexes non saturés, l'acidité qui apparaît dans la solution est désignée sous le nom d'acidité hydrolitique.

Le mode opératoire est semblable à celui de la méthode précédente, si ce n'est que l'on remplace la solution de chlorure de potassium par une solution d'acétate de soude. MM. Brioux et Pien ont constaté que l'acidité d'échange déterminée par la méthode Daikuhara est, dans la grande majorité des cas, de dix à vingt fois plus faible que l'acidité déterminée par voie électrométrique, ou par la méthode Hutchinson ; on ne peut donc s'en servir pour déterminer pratiquement le besoin en chaux d'un sol. L'acidité d'échange ne devient très élevée que pour les sols très acides.

Au contraire, l'acidité hydrolitique se rapproche des indices Hutchinson, tout en restant légèrement inférieure.

Ceci ne fait que confirmer la préférence que l'on doit donner à la méthode Hutchinson, surtout dans les laboratoires dépourvus de l'appareillage nécessaire à l'établissement des courbes électrométriques de saturation.

Les besoins en chaux obtenus au Laboratoire sont-ils directement applicables à la pratique agricole ?

Nous avons vu que si l'on admet que la couche arable d'un hectare pèse en moyenne 2.500 tonnes, pour une profondeur de 18 à 20 centimètres, on pouvait calculer, d'après les indices Hutchinson, ou d'après les chiffres plus précis, fournis par la méthode électrométrique, la quantité théorique de chaux nécessaire à la neutralisation d'un hectare de terre. En effet, il a été vérifié *in vitro* au laboratoire, qu'en ajoutant à 1 kilog de terre la quantité de chaux pure indiquée

par les courbes de saturation, on arrive bien à la neutralité avec un p.H. = 7 ou très voisin.

En est-il de même en plein champ ? Plusieurs facteurs interviennent pour rendre incomplète l'action de la chaux introduite sur les complexes colloïdaux acides du sol : Irrégularité de l'épandage (celui-ci ayant lieu en fragments plus ou moins grossiers) ; absorption d'une certaine dose de chaux par les plantes ; entraînement par les eaux de drainage dans le sous-sol ; nitrification qui sature une partie de la chaux. En n'apportant, en plein champ, que la quantité exacte de chaux pure nécessaire pour obtenir la neutralité au laboratoire, on n'obtiendra qu'une neutralisation incomplète.

Dans la pratique, il faudra donc forcer la dose. Jusqu'ici, on admettait qu'en l'augmentant de 50 %; on arrivait à incorporer au sol une dose suffisante pour obtenir la neutralité.

Il semble résulter, d'essais récents entrepris au Danemark, par Harold Christensen et Jensen, du laboratoire d'Etat de Lyngby, qu'il faille aller plus loin.

Ils ont, d'une part, évalué le besoin en chaux d'un certain nombre de sols, par la méthode des courbes de saturation, en notant les quantités d'eau de chaux nécessaires pour obtenir un p.H. déterminé. Puis, des essais ont été faits en plein champ, sur les mêmes sols qui recevaient des doses croissantes de chaux ou de carbonate de chaux, et l'on déterminait, au bout d'un certain temps (trois mois et un an), les changements de réaction de la couche arable des champs d'expériences.

En comparant les quantités de chaux nécessaires pour obtenir d'abord au laboratoire, puis en plein champ, la neutralité correspondant à p.H. = 7, ou d'autres valeurs de p.H., Christensen et Jensen trouvèrent pour le rapport :

Besoin en chaux en plein champ,
Besoin en chaux au laboratoire,

des valeurs variant de 2,5 à 3,5 avec une moyenne de 2,9.

Il faut donc, sous le climat danois, pour obtenir, en plein champ, les même variations de réaction qu'au laboratoire, trois fois plus de chaux que ne l'indiquaient les essais de laboratoire, pour lesquels l'action de la chaux est complète et rapide. Ce liming factor ou facteur de chaulage, comme le désigne Christensen, peut paraître élevé, peut-être est-il susceptible de varier avec les sols et les climats.

MM. Brioux et Pien ont montré, en 1927, que même *in vitro* et en l'absence de toute cause de déperdition, un sol neutralisé par la chaux se réacidifie lentement, au bout de quelques semaines.

Leurs expériences portèrent sur trois terres acides de limon des plateaux présentant les caractéristiques suivantes :

	N° 1	N° 2	N° 3
Acidité Hutchinson pour			
1.000 en CaO	0,488	0,239	0,644
p.H. initial.....	5,67	6,35	5,15

Divers lots de ces terres furent placés dans des verres à conserves, et maintenus suffisamment humides ; on y ajouta de la chaux pure ou du carbonate de chaux précipité pur, soit à dose égale, au besoin en

chaux déterminé par l'analyse, soit à dose triple. Le tout fut abandonné à la température du laboratoire, et la concentration en ions hydrogène des divers mélanges fut déterminée à l'aide de l'électrode à hydrogène, à intervalles de plus en plus espacés.

Je reproduis ci-dessous les résultats obtenus :

Terres additionnées de CO^3 Ca pur.

p.H. trouvé	N° 1		N° 2		N° 3	
	Dose simple	Dose triple	Dose simple	Dose triple	Dose simple	Dose triple
Après :						
24 heures	7	8	7,06	7,73	7,04	7,80
1 semaine	7	8,04	7	7,80	7,04	8,43
3 semaines	6,77	7,94	7,05	7,70	7,05	8,40
5 et 7 semaines ..	5,73	6,91	6,64	7,38	7,02	8,40
2 mois	5,40	6,85	6,48	7,25	6,79	8,40
3 mois 1/2	—	—	6,31	6,91	6,44	7,23
5 mois 1/2	—	6,54	—	—	—	—

Les lots additionnés d'une dose de carbonate de chaux, équivalente au besoin en chaux, déterminé à l'aide des courbes de saturation, furent exactement neutralisés p.H. = 7 à 7,06, et restèrent neutres de 3 à 5 semaines, puis se réacidifièrent peu à peu, comme le montrent les p.H. qui redeviennent pour les terres 1 à 2 égaux aux p.H. initiaux.

Les lots additionnés d'une dose triple de carbonate de chaux, d'abord très nettement alcalins (p.H. voisin de 8), virent leur alcalinité diminuer, peu à peu, jusqu'à la neutralité ; pour la terre N° 1, le p.H. descendit même jusqu'à 6,54 après 5 mois 1/2.

En dosant les nitrates formés, MM. Brioux et Pien ont montré que la réacidification de ces sols, après neutralisation, n'était due que très partiellement à la nitrification. Elle serait due principalement à la for-

mation d'acides organiques résultant de l'oxydation de l'humus, favorisé d'ailleurs par l'addition de chaux ; on peut admettre également l'existence, dans les sols acides, de certains silicates non saturés, extrêmement peu solubles, dont les radicaux acides n'agissent que peu ou pas sur le p.H. initial des suspensions de sol, et ne seaturent que très lentement aux dépens de la chaux introduite.

Avec l'aide de M. Cournier, Professeur d'Agriculture à Yvetot, et de M. Vittecoq, agriculteur à Fauville, M. Brioux a organisé, en 1927 et en 1928, trois champs d'expérience en sol de limon des plateaux, qui ont confirmé ses essais de laboratoire.

Le besoin en chaux était déterminé, pour chaque parcelle de un are, à l'aide des courbes de saturation et par la méthode Hutchinson ; certaines parcelles ne recevaient pas de chaux, tandis que les autres étaient chaulées, soit à dose simple, soit à dose triple, de leur besoin en chaux. Après chaulage, les parcelles d'expériences étaient ensemencées comme le reste du champ, puis, à l'automne, le p.H. et l'acidité de chaque parcelle furent déterminés sur des prélèvements moyens (10 à 12 prélèvements par parcelle).

Voici les résultats qu'ils trouvèrent :

	Champs d'expériences					
	Valliquerville		Fauville N° 1		Fauville N° 2	
	p. H.	acidité p. 1.000	p. H.	acidité p. 1 000	p. H.	acidité p. 1 000
Avant chaulage.....	6,2	0,30	6,4	0,27	6	0,50
6 mois après.....	—	0,35	6,2	0,29	5,9	0,55
Parcelles sans CaO.....	6.	—	—	—	—	—
Parcelles à dose simple.	6,7	0,17	6,5	0,13	6,5	0,24
Parcelles à dose double	—	—	—	—	7,5	Réact. alcaline
Parcelles à dose triple...	7,1	Neutralité	6,9	0,06	—	—

Après six mois, on observe donc un léger accroissement de l'acidité des parcelles sans chaux.

Les parcelles ayant reçu une dose simple de chaux, c'est-à-dire égale à la quantité nécessaire, pour neutraliser le sol au laboratoire, sont encore acides, et l'acidité restante est égale à environ la moitié de l'acidité initiale.

Pour les deux premiers champs d'expériences, à sol relativement peu acide, les parcelles ayant reçu une dose triple de chaux, et dont le sol aurait dû être nettement alcalin, présentent un p.H. de 7,1 et de 6,9, correspondant à la neutralité pratique. Il y a eu saturation de la chaux en excès.

Pour le troisième champ d'expérience (Fauville N° 2), d'une acidité initiale plus élevée, une dose double de chaux a été suffisante pour maintenir la réaction du sol légèrement alcaline.

Ces expériences, qui arrivent à des conclusions voisines de celles de Christensen et de Jensen, montrent que le besoin en chaux, déterminé au laboratoire, n'est qu'un minimum, insuffisant dans la pratique ; pour assurer la neutralisation du sol, il doit être multiplié par un coefficient qui varierait entre 2 et 3, suivant les sols.

Pour les terres de même nature, ce coefficient paraît plus élevé pour celles qui sont peu acides, que pour celles d'une acidité égale au supérieure à 0,50 pour 1.000.

*Besoins en chaux et p.H. des sols des prairies
de la Seine-Inférieure.*

En Seine-Inférieure, près de la moitié des terres de limon et d'argile à silex du Pays de Caux sont en voie d'acidification.

Dans le Pays de Bray, boutonnière jurassique creusée entre la Haute-Normandie et la Picardie, toute la zone des sables verts de l'Albien, celle des sables et argiles du Néocomien, présentent une proportion encore plus forte de sols décalcifiés ; on en trouve même sur certaines couches du Portlandien, moyen et supérieur, pourtant mieux pourvus en chaux que les limons du Pays de Caux.

Sur 450 échantillons de sols de nature variée, analysés à la Station Agronomique de Rouen, de 1920 à 1925, 160, soit 35 %, présentaient une réaction acide.

Acidité variant de 0 à 0,3 0/00 : 66, soit..	41,3 %
— — de 0,3 à 0,5 0/00 : 30, soit.	18,7 %
— — de 0,5 à 1 0/00 : 30, soit..	18,7 %
— supérieure à 1 0/00 : 34, soit. : . . .	21,3 %
	100 %

Pour les terres d'herbages du Pays de Bray, l'acidité évaluée en chaux est élevée et dépasse souvent 1 0/00 ; les besoins en chaux rapportés à l'hectare varient de 900 à 4.250 kilogs.

Les p.H. déterminés par l'électrode à hydrogène varient de 4,9 à 6,5.

Certaines terres, malgré leur acidité élevée, renferment encore une dose de chaux, mais cette chaux, combinée sous forme de phosphate, sulfate, humates et nitrate, est inactive au point de vue de la réaction des sols.

Certaines terres, exceptionnellement riches en acide phosphorique, sont, malgré leur acidité élevée, très réputés comme bouveries,

C'est le cas d'une bouverie de Riberpré; dont nous mentionnons ci-dessous l'analyse :

Origine	Formation géologique	Azote total	Chaux soluble dans les acides
Riberpré	Portlandieu moyen	4,70 0/00	32,60 0/00
Acidité évaluée en chaux	p.H.	Besoin en chaux par hectare	»
1,70 0/00	5,1	4.250	»

Conséquences de l'acidité du sol des prairies

Etant donné la loi d'harmonie, l'acidité du sol des prairies aura une répercussion sur la flore, et, par suite, sur l'élevage.

I. — INFLUENCE SUR LA FLORE.

Si l'acidité du sol des prairies est faible avec un p.H. inférieur à 7, mais ne descendant pas au-dessous de 6,5, on ne peut guère remarquer de modification dans la flore ni dans les rendements, principalement lorsque le sol est bien pourvu d'acide phosphorique et de potasse, ou s'il en reçoit une quantité suffisante par les engrais.

Les Hollandais, qui ont beaucoup étudié les sols acides, qui sont nombreux dans leur pays, estiment que le p.H. optimum est compris pour les herbages et prairies entre 6,5 et 7.

Au fur et à mesure que l'acidité augmente, les légumineuses périclitent.

Le trèfle violet et la lupuline disparaissent les premiers, dès que le p.H. descend au-dessous de 6, ce qui correspond pour les herbages à une acidité voisine de 0,50 pour 1.000. Le trèfle blanc est plus résistant ; il

peut se maintenir tout au moins partiellement, lorsque les sols sont riches et sains, jusqu'à des p.H. voisins de 5. On peut le constater dans de bonnes bouveries du pays de Bray, abondamment pourvues de phosphate.

Les graminées sont également influencées par l'acidité.

M. Van Daalen, dans une thèse intitulée « Contribution à la connaissance de la composition chimique et botanique du foin. Influence des fumures sur sa composition », indique que le paturin des prés, le vulpin des prés, le raygrass, la fétuque, le brome mou, préfèrent les sols voisins de la neutralité, et même légèrement alcalins. Il en serait de même de la crételle et du dactyle pelotonné.

Par contre, la fléole des prés, la flouve odorante, la fétuque ovine et surtout la houlque laineuse, préfèrent les sols acides. Cette dernière graminée, dans les terrains humides dépourvus de calcaire, devient envahissante.

Puis, en sols humides, apparaissent les carex, les luzules, les joncs, les rumex, qui sont des plantes grossières nettement acidophiles.

II. — INFLUENCE SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DU FOURRAGE.

La transformation subie par la flore va s'accompagner d'une modification plus ou moins profonde dans la composition chimique du fourrage, qui est généralement moins riche en matières azotées et en certains principes minéraux comme l'acide phosphorique, et la chaux.

La diminution de la teneur en chaux de l'herbe et du foin des prairies acides est due à la disparition progressive du nombre des légumineuses, ces dernières étant plus riches en chaux que les graminées.

En effet, d'après le Docteur Van Daalen, le foin des graminées contient en moyenne de 0,40 à 0,60 % de chaux, tandis que le foin de trèfle en renferme de 1,85 à 2,50 %, c'est-à-dire quatre fois plus environ.

Les fortes fumures azotées, qui ne sont pas accompagnées d'amendements calcaires, peuvent également faire diminuer la teneur en chaux du foin. Dans certains essais effectués par le Docteur Van Daalen, cette teneur tomba de 0,84 à 0,56 %.

Dans certains sols très acides, où l'acide phosphorique se trouve principalement sous forme de phosphate de fer peu assimilable, l'herbe, et, par suite, le foin, seront pauvres à la fois en acide phosphorique et en chaux.

Par suite de son influence sur la flore et la composition chimique des fourrages, l'acidité du sol des prairies aura également une répercussion sérieuse sur l'élevage et la production laitière.

III. — INFLUENCE SUR L'ÉLEVAGE ET LA PRODUCTION LAITIÈRE.

1° Influence sur le développement du rachitisme et de l'ostéomalacie.

Les jeunes animaux nourris à l'herbage ont besoin d'une quantité minimum de chaux et d'acide phosphorique pour assurer leur développement normal et la bonne consolidation de leur squelette ; il en est de même pour les vaches en état de gestation.

Le manque de chaux dans la ration, plus encore que celui d'acide phosphorique, amène peu à peu du rachitisme chez les jeunes animaux (affection qui se caractérise par une déviation de développement et un défaut de consolidation régulière des os) ; et de la cachexie osseuse ou ostéomalacie chez les adultes (maladie de la nutrition caractérisée par une décalcification générale du squelette plus accentuée sur certains os, et en déterminant leur fragilité).

L'ostéomalacie s'observe principalement chez les vaches laitières, tout au moins en France, souvent aussi chez le porc. Aux Colonies, au contraire, on l'observe principalement chez le cheval.

Plusieurs théories ont été émises : l'une des plus anciennes est celle dite de l'insuffisance. Théorie de l'insuffisance : D'après cette théorie, les enfants ou les animaux jeunes ne trouveraient pas dans leur alimentation la quantité de sels minéraux nécessaire à l'édification de leur squelette, de là le rachitisme. Ou bien les adultes ne trouveraient pas non plus dans leur ration quotidienne la quantité de sels minéraux suffisante pour entretenir le taux normal dans l'organisme et le squelette, et compenser les pertes permanentes de dénutrition qui s'effectuent par les urines, le lait, la sueur, etc., d'où l'ostéomalacie.

Cette thorie simpliste et logique, ne saurait rendre compte de tous les cas observés. Par exemple, le lait de vache est plus riche en chaux que le lait de femme ; or, c'est surtout chez les enfants élevés au biberon avec du lait de vache, que l'on constate le rachitisme.

Théorie de Liénaux et Huyneh.

Les professeurs Liénaux et Huynen, de l'Ecole Vétérinaire de Bruxelles, ont mis en évidence le rôle indiscutable joué par le foin pauvre en chaux des prairies humides et marécageuses dans la genèse de ces maladies.

De leurs expériences, il résulte qu'en administrant méthodiquement de l'acide phosphorique aux animaux, on peut produire du rachitisme. L'acide phosphorique serait donc un décalcifiant, et ils pensent que l'acide phosphorique alimentaire jouit des mêmes propriétés.

Ces expériences ne font que confirmer celles faites antérieurement avec l'acide lactique par Siédamgrotski et Hofmeister, qui avaient montré que l'administration expérimentale de l'acide lactique à des sujets en expérience, entraîne une élimination plus grande de la chaux par les urines et une diminution de quantité des matières calcaires des os.

L'acide silicique pourrait également jouer un rôle.

Cette propriété décalcifiante serait une propriété générale des acides.

Si les acides organiques des végétaux jouent un rôle effacé, par suite de leur oxydation rapide, il n'en est pas de même pour l'acide silicique et l'acide phosphorique qui se trouvent toujours à l'état libre dans quelques molécules.

Dans les graminées, l'acide silicique est en grande abondance, dans les légumineuses, il est en moindre proportion. L'acide phosphorique est à égalité dans les deux. La chaux étant en quantité moindre dans les graminées que dans les légumineuses, Liénaux et

Huynen en concluent que le taux d'acidité du foin des graminées est beaucoup plus élevé que celui du foin des légumineuses. Les graminées doivent donc être considérées comme décalcifiantes, tandis que les légumineuses ont des propriétés récalcifiantes.

Ainsi s'explique le rôle des pâturages pauvres et humides, dans lesquels on ne trouve que des graminées riches en acide silicique et pauvres en chaux. De plus, comme ces plantes renferment peu de matières azotées, il en reste trop peu dans l'organisme pour former de l'ammoniaque, de sorte que l'organisme peut se débarrasser de l'excès d'acide en le neutralisant par l'ammoniaque.

La chaux des végétaux se rencontrant surtout dans les tiges et dans les feuilles arrivées à leur plein développement, l'acide phosphorique, au contraire, dans les parties jeunes, il en résulte que la consommation continue des jeunes herbes, surtout celles poussant en sols acides, tend à entraîner du rachitisme et de l'ostéomalacie.

Ces deux affections ne sont donc dues qu'à un manque de proportion entre les acides et les bases, c'est-à-dire entre les acides et la chaux.

Si, par l'administration expérimentale des acides, certains auteurs (Arloing et Tripier) n'ont pas obtenu des résultats concordants, cela tient à l'ignorance de la quantité de chaux ingérée par les animaux en expérience.

Tapon a, depuis longtemps (1893), signalé que, dans certaines régions de la Vendée, la cachexie osseuse se développait dans certaines fermes où on utilisait

les superphosphates comme engrais. Germain, en Cochinchine, a signalé l'apparition de la maladie chez le cheval dans les terrains pauvres en sel calcaire.

M. Baillon, de Ressons-sur-Matz (Oise), dans sa thèse de Doctorat intitulée « Etiologie et traitement de la cachexie osseuse bovine », dit qu'il eût à combattre dans sa région une épidémie de cachexie osseuse, qu'il attribue à la consommation constante de fourrages récoltés sur des sols décalcifiés. Il cite le cas d'un haras de l'Oise, établi sur les bords du Matz, où les poulains, consommant exclusivement du foin récolté sur les prairies humides, manquaient d'os. Pour y remédier, on faisait venir du dehors de bons fourrages, qui rétablissaient les sujets à membres faibles. Par la suite, on traita les prairies à l'aide d'engrais riches en chaux, et au bout de quelques années, le foin obtenu remplaça avantageusement celui que l'on faisait venir du dehors. Tgetgel, dans *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* de mars et avril 1929, signale qu'il a observé de l'ostéomalacie dans l'Engadine, canton des Grisons, et que l'exploitation rationnelle des terres, l'emploi d'engrais phosphatés et d'amendements à la chaux dans les prairies, constituent avec la préparation rationnelle du foin, et l'administration de fourrages concentrés, le traitement préventif.

Depuis, l'on a fait de ces maladies des maladies par carence, c'est-à-dire par absence de vitamine D (anti-rachitique) ; on a fait jouer également un rôle à l'absence des rayons ultra-violets.

Or, en 1928, Liégeois a montré, dans les *Annales de Médecine Vétérinaire* (juin 1928), que le rachitisme

spontané du chien, du porcelet et du poulain, considéré avant tout traitement, s'accompagne d'un trouble de l'équilibre acide base, dans le sens d'une acidose non gazeuse avec chute de la réserve alcaline. Il a montré également que le mécanisme d'action de l'huile de foie de morue et du vigantol (ergosterine irradiée de Merk) au cours du rachitisme, comporte une correction du trouble acido-basique, qui est, nous venons de le voir, une des manifestations humorales de cette affection. Leur influence est nettement alcalosante. Ces agents ramènent à des proportions normales le taux du calcium ionisé. De même les rayons ultra-violets, dont on connaît l'action hautement anti-rachitique, déterminent une augmentation constante et rapide de la réserve alcaline.

Ces effets paraissent subordonnés à un trouble préalable de l'équilibre acide base, puisqu'ils ne se manifestent pas chez le chien sain. Ces conclusions remettent donc en honneur la notion de l'existence d'une acidose au cours du rachitisme.

C'est ainsi que lors du Congrès international de médecine vétérinaire de Londres, d'août 1930, le Professeur Marek conclut que la plus grande attention doit être accordée au départ qu'il y a lieu de faire entre les maladies par carence et les autres maladies de la nutrition. Dans le groupe des maladies par carence, la place du rachitisme et de l'ostéomalacie doit être établie par de nouvelles recherches.

2° *Influence sur la reproduction :*

Edward Meigs, à la suite d'expériences faites sur l'alimentation des vaches laitières à l'Université de

Wisconsin, montre, dans le *Journal of the American Veterinary medical Association*, de mars 1927, que la reproduction est compromise dès que les rations contiennent trop peu de calcium. Dix-sept vaches reçoivent comme seul fourrage une paille à faible teneur en calcium (paille de blé ne renfermant que 0,27 % de calcium). Trois ne présentent pas de chaleur. Les autres sont fécondées. Elles accouchent de dix à trente-quatre jours avant le terme, soit une avance de vingt et un jours en moyenne. Quatre veaux mort-nés et les dix autres sont petits et faibles, et tous meurent après quelques jours.

D'autres vaches du même troupeau, placées dans les mêmes conditions hygiéniques, reçoivent de l'alfalfa ou du trèfle comme fourrage. Tous les veaux naissent et survivent. Un est né 41 jours avant le terme, neuf autres de 1 à 13 jours, soit une moyenne de 9 et de 5 jours d'avance, si l'on met à part la naissance prématurée de 41 jours.

Il est évident que toutes les précautions avaient été prises pour éviter que l'avortement contagieux ne vienne fausser les résultats. Dans ce but, tous les sujets étaient soumis à des épreuves d'agglutination.

Les résultats de Wisconsin ont été confirmés par d'autres stations.

A la Michigan Station, quatre génisses sont alimentées en graines et paille de blé. Une meurt. Les trois autres accouchent un et deux mois avant le terme. Un veau est mort-né ; l'autre vit deux jours. La troisième génisse étant dans un état lamentable, reçut de l'huile de foie de marée ; elle donne, à terme, un veau qui vécut 18 jours.

Eckles cite le cas de deux génisses de Jersey, recevant une ration pauvre en calcium et qui avortèrent toutes les deux. Les expériences faites à la Station du Bureau de l'Industrie Laitière à Belts-Ville (Maryland), portent sur huit vaches laitières alimentées depuis longtemps avec du foin de faible teneur en calcium et des grains ensilés.

Quatre des vaches sont indemnes de *Bacillus abortus*, tandis que les quatre autres donnent un sérum agglutinant.

Des quatre vaches infectées : trois accouchent moins de deux semaines avant le terme, et une avorte à sept mois.

Des quatre non infectées, une accouche normalement, et les trois autres accouchent de 20 jours à 10 semaines avant le terme, de veaux mort-nés ou qui vivent seulement quelques heures.

On voit donc que la question de l'équilibre du calcium intéresse l'étude de l'avortement sous toutes ses formes. Même dans l'avortement infectieux, la déficience en calcium joue un rôle considérable et souvent les vaches avorteront ou non suivant qu'elles recevront ou non une alimentation déficiente en calcium.

3° *Influence sur le développement de l'entérite des nouveau-nés :*

R. Nanninger, dans *Deutsche tierärztliche Wochenschrift*, du 10 novembre 1928, signale parmi les causes capables de diminuer la résistance naturelle des jeunes animaux à l'égard des différents agents de l'entérite chez les nouveau-nés, l'alimentation irrationnelle des femelles pleines, en particulier si les minéraux et no-

tamment les sels de chaux se trouvent en quantité insuffisante dans les aliments.

4° *Influence sur la production laitière :*

En ce qui concerne les vaches laitières, la consommation d'herbes ou de foins pauvres en chaux est un facteur limitant de la production laitière. Meigs et Turner l'ont établi aux Etats-Unis, où dans beaucoup de régions le foin des graminées est sensiblement trop pauvre en chaux, puisqu'il en contient moins de 0,35 %.

Les besoins en calcium d'une vache laitière sont naturellement variables suivant son rendement. Une vache donnant seulement 5 kilos de lait par jour peut se contenter d'une alimentation relativement pauvre, tandis qu'une autre donnant 25 kilos de lait, devrait absorber par son intestin 25 grammes de calcium par jour, pour conserver son équilibre. Les besoins en calcium des vaches laitières ont été recherchés par de nombreuses et récentes expériences, en particulier par Hart et Steenbock à la station expérimentale de Wisconsin.

La ration d'une vache laitière recevant une nourriture sèche doit contenir, d'après ces auteurs, tous les autres besoins étant satisfaits, un minimum de 0,45 % de chaux.

Il a été trouvé que les vaches laitières ne peuvent pas absorber plus de 20 % de calcium contenu dans leur ration, et que celle-ci ne contient souvent pas plus de 50 à 100 grammes de calcium par jour. Si une vache donnant 25 kilos de lait par jour reçoit 80 grammes de calcium et en absorbe 20 %, soit 16 grammes,

elle devra perdre, avec son lait, 9 grammes de calcium de plus qu'elle n'en absorbe.

Ces fortes laitières ne trouveront donc pas suffisamment de chaux dans leur ration d'herbes, lorsqu'elles seront au pâturage sur ces herbages pauvres en légumineuses, ce qui est le cas pour les prairies humifères acides.

La consommation continue d'une ration déficitaire en chaux va avoir aussi une répercussion sur la composition minérale du lait, qui sera lui-même appauvri en chaux. Ce fait a une grande importance en fromagerie. Les sels de chaux jouent un rôle dans la coagulation de la caséine du lait ; ils agissent en activant la coagulation et en donnant un coagulum plus compact et plus rétractile. Les laits renfermant insuffisamment de chaux auront une coagulation lente et défectueuse à laquelle on sera obligé de remédier en ajoutant une petite quantité de chlorure de calcium.

5° Influence sur le développement de la fièvre vitulaire :

La fièvre vitulaire, encore dénommée fièvre de lait, est une affection grave des parturientes de l'espèce bovine, caractérisée par la perte des facultés intellectuelles, la diminution ou l'abolition de la sensibilité et une paralysie motrice plus ou moins accentuée. Telle est la définition qu'en donne le Professeur Moussu :

Etiologie : Son apparition est généralement conditionnée par l'abondance de la sécrétion lactée, ce qui semble confirmer la théorie que nous exposons plus loin.

1° Ce sont les femelles qui appartiennent aux races les plus laitières qui sont principalement atteintes, c'est-à-dire la race hollandaise, et les sous-races, la race normande, la race tachetée. La maladie s'observe exceptionnellement sur les races du Midi de la France, et sur les races de boucherie.

2° Parmi les races précitées, ce sont les animaux qui ont les aptitudes laitières les plus grandes qui sont surtout frappés. Je citerai, à cet égard, une vache normande appartenant à M. Perne, de la ferme de Florence, ayant pris part au concours de la meilleure laitière de France, et qui a eu trois fois la fièvre vitulaire.

3° Ce sont surtout les vaches de 6 à 11 ans qui sont atteintes, car c'est le moment où leur production laitière est la plus grande.

4° Les traites complètes et répétées exercent également une action favorisante.

5° La maladie évolue toujours après les parturitions heureuses, parce que, dans ce cas, la sécrétion lactée atteint son maximum.

Pathogénie : De nombreuses théories ont été émises sur sa pathogénie; pour certains auteurs, et, en particulier, pour deux savants anglais : Little et Wright, de la station des recherches de Reading, la fièvre de lait n'apparaîtrait qu'en cas de déséquilibre dans l'alimentation en chaux.

Sjoliema a montré que la déficience du sang en calcium est à la base des symptômes constatés dans la fièvre vitulaire. Sur 40 vaches, 17 avaient une teneur inférieure, en calcium, à 5 mmgr. pour cent ; 16

avaient une teneur de 5 à 6 mmgr. pour cent, et 6 une teneur de 6 à 7 mmgr. pour cent.

Alors que le sérum normal de la vache en renferme de 9 à 11 mmgr. pour cent.

Depuis les expériences de Mac Callum et Collip, l'on sait que les glandes parathyroïdes régularisent la quantité de calcium versée dans le sérum, et qu'elles ont probablement aussi pour mission d'empêcher une accumulation de calcium dans le sang.

Si les besoins en calcium sont très grands, comme il arrive chez les bonnes laitières après la mise bas, les parathyroïdes sont chargées d'assurer le prélèvement du calcium dans les os, en mettant à contribution certains centres du bulbe.

Les vaches à rendement en lait très élevé présentent souvent un bilan calcique très élevé pendant la première période de la lactation, elles éliminent plus de calcium avec le lait, l'urine et les excréments, qu'elles n'en reçoivent avec la nourriture. Si une vache donne 20 litres de lait par jour, le lait sécrété renferme cinq fois plus de calcium que la totalité du sang en contient, un litre de lait renfermant 12 à 13 fois plus de calcium qu'un litre de sang. Dans ce cas, l'équilibre calcique devient faible, les parathyroïdes doivent faire des efforts considérables pour maintenir cet équilibre dans des limites compatibles avec la santé chez les vaches bonnes laitières, après le part, les parathyroïdes sont obligées tout d'un coup d'assurer la libération d'abondantes quantités de calcium, l'équilibre calcique est rompu, et le système nerveux végétatif est déséquilibré ; l'on voit alors apparaître le cortège

symptomatique connu sous le nom de fièvre vitulaire.

L'action du traitement classique de l'insufflation de la mamelle s'expliquerait par le fait qu'elle augmente la teneur du sang en calcium.

Sjollema préconise, comme traitement, l'injection intraveineuse de 300 à 400 grammes d'une solution à 10 % de chlorure de calcium cristallisé.

Il dit que le traitement a réussi en des cas pour lesquels on n'a pas fait d'autre intervention, ainsi que dans des cas rebelles à l'insufflation d'air. Cinq praticiens auraient obtenus vingt guérisons. L'un de ceux-ci aurait traité avec succès trois vaches auxquelles le propriétaire avaient insufflé les mamelles à différentes reprises, sans résultat.

Henry Dryerre et Russel Greig, expriment également l'opinion qu'au cours de la fièvre vitulaire il existe des troubles des glandes endocrines et un abaissement du taux du calcium. Dès 1924 ils formulèrent l'hypothèse de l'hypocalcémie sur la nature de la fièvre vitulaire.

Dix-sept analyses, portant sur dix accouchées, donnent de 8 mmgr. 64 à 10 mmgr. 97 pour 100 de calcium, soit 9 mmgr. 85 de moyenne. Ce qui prouve que, normalement, au moment où la fièvre vitulaire se manifeste, c'est-à-dire 48 heures après le part, il se produit déjà une chute de la teneur en calcium. Le colostrum est très riche en calcium.

Little et Wright estiment que la sécrétion d'un demi-gallon de colostrum suffirait à priver le sang de tout son calcium s'il n'existait pas des réserves pour le reconstituer.

Sur 40 échantillons de sang provenant de vaches atteintes de fièvre vitulaire, dont les prises ont été effectuées avant l'insufflation de la mamelle, sauf deux qui furent pratiquées immédiatement après, le taux du calcium contenu variait de 3 mmgr. 35 à 7 mmgr. 76 pour 100 : soit une moyenne de 5,18.

La manifestation essentielle de la fièvre vitulaire est la tétanie, parfois généralisée, grave et accompagnée de convulsion, parfois modérée et localisée à quelques groupes musculaires, spécialement à ceux de l'arrière-train.

Cette tétanie, de durée variable, peut passer inaperçue, et être masquée par la phase suivante de léthargie ou de coma. Dans les cas graves, on la voit persister pendant le coma, et les membres de la vache restent raides et impossibles à fléchir.

Or, l'on sait que la tétanie est due à la déficience du calcium dans les tissus, cette condition étant réalisée de deux façons :

1° si le calcium, en proportion normale, ne se trouve pas sous une forme assimilable ;

2° si le taux du calcium est déficitaire.

D'après ces auteurs, la vache laitière produit une telle quantité de lait, que si l'action des parathyroïdes ne correspond pas à celle de la mamelle, la teneur du sang en calcium ne peut être maintenue au niveau requis, et la fièvre vitulaire évolue.

Ils ont montré qu'on obtient expérimentalement le relèvement du taux du calcium par l'insufflation de la mamelle. Quatre brebis ayant agnelé depuis six semaines, sont soumises au traitement. On constate une

augmentation de 10 % de la teneur en calcium, après des temps qui varient de 1 heure 1/2 à 5 heures.

O. Stintson, s'inspirant des théories émises sur la pathogénie de la fièvre vitulaire, dans lesquelles on fait jouer un rôle primordial à la déficience en calcium de l'organisme, a traité plusieurs animaux atteints par le gluconate de calcium.

A une vache dans le coma, ayant vélé depuis deux jours, il injecte dans la veine 300 cm³ d'une solution de gluconate de calcium à 10 %. Une heure et quart plus tard, l'animal peut marcher dans l'étable. Ce traitement est renforcé par deux injections sous-cutanées, chacune égale à la dose précédente.

Une jeune vache, qui a mis bas depuis 36 heures, éprouve des difficultés à se tenir debout, il lui injecte une solution de 45 gr. de gluconate de calcium dans 1.100 cm³ d'eau. Guérison immédiate.

Dans ces deux cas, le taux du calcium dans le sang fut recherché avant et après le traitement.

Chez le premier animal, le taux était avant la cure de 4 mmgr. 99 pour 100, il passa de 6,35 à 7,93 et à 8,6 % pour arriver plusieurs semaines plus tard à 9,90 %.

Chez le deuxième, on a trouvé 5,34 % avant l'injection, et 7 heures plus tard 7,46 %.

L'auteur en conclut que le diagnostic de fièvre vitulaire est confirmé par une déficience très nette de l'organisme en calcium.

Le Professeur Fish combat la théorie de Wildmark, Carlens et Auger, sur le rôle de l'hypoglycémie dans la pathogénie de la fièvre vitulaire, et il constate aussi

qu'il existe un taux déficitaire du calcium dans le sang, les glandes parathyroïdes seraient atteintes.

L'on voit par ce qui précède quelle influence pourra avoir, sur le développement de la fièvre vitulaire, l'acidité du sol des prairies.

Les vaches bonnes laitières recevant une nourriture déficiente en calcium, y seront plus prédisposées que les autres.

J'ai observé une ferme dont les pâtures étaient acides (présence d'oseille), et où les cas de fièvre vitulaire étaient nombreux, cinq dans la même année. Depuis que le fermier y a apporté les amendements calcaires nécessaires, la fièvre vitulaire n'y apparaît qu'exceptionnellement, la composition du troupeau étant toujours identique.

Dans ma clientèle, le fait, que j'observe plus fréquemment, la fièvre de lait pendant le séjour au pâturage, semble confirmer la théorie de la déficience en calcium.

En effet, la consommation continue des jeunes herbes sera une cause prédisposante, étant donné que la chaux se trouve surtout dans les feuilles et les tiges arrivées à leur plein développement.

6° *Influence sur le développement de l'entérite paratuberculeuse :*

On désigne sous le nom d'entérite paratuberculeuse une entérite spéciale aux bovidés, causée par la pullulation, dans la muqueuse intestinale, du bacille paratuberculeux. Elle est caractérisée cliniquement par une diarrhée persistante et un amaigrissement progressif, et anatomiquement par l'hypertrophie des parois intestinales.

Elle est souvent qualifiée de diarrhée chronique, de dysenterie, de boyau tendre, de boyau blanc. En ces dernières années, on l'a appelée entérite hypertrophiante, par suite de l'aspect macroscopique des lésions de l'intestin.

Etiologie : Cete maladie s'observe un peu partout par cas isolés ; dans certaines exploitations, on peut la voir sévir en permanence sur un certain nombre d'animaux. Il est des régions où elle cause de véritables ravages, particulièrement dans les Flandres, la Normandie, le Pays de Caux.

Les pâturages humides, bas et marécageux, comme les polders de la Manche, semblent être les plus favorables à son évolution, mais la maladie se rencontre également dans les pâturages du Nivernais et de la Thiérarchie.

On l'observe ordinairement sous forme de cas isolés, mais on peut la voir sévir sous forme d'enzooties locales, frappant chaque année un nombre déterminé d'animaux.

Le Professeur Moussu signale des exploitations de Normandie, où l'on perd 10 % de l'effectif chaque année, par suite de cette affection.

J'ai eu l'occasion d'observer la maladie chez M. le baron de Ladoucette, à Janval ; chez M. Perne, à Florence ; chez M. Fabry, au domaine de Calmont ; à la ferme des Hospices de Dieppe, à Janval, et dans ces exploitations, j'ai enregistré des pertes annuelles de 10 % de l'effectif.

Chez M. le baron de Ladoucette, en 1927 et 1928 :
3 bêtes par an sur un effectif de 30 bêtes ;

Chez M. Perne, à Florence, en 1925, 1926, 1927 et 1928 : 4 bêtes par an sur un effectif de 40 bêtes ;

A la Ferme des Hospices, à Janval, depuis l'introduction de l'infection par une vache achetée, on a enregistré les pertes suivantes :

En 1927 : sur 28 bêtes : Pertes : 2.

En 1928 : sur 28 bêtes : Pertes : 2.

En 1929 : sur 30 bêtes : Pertes : 3.

En 1930 : sur 30 bêtes : Pertes : 4.

Chez M. Fabry, sur un effectif de 95 bêtes en 1928 : pertes : 9 ; sur un effectif de 90 bêtes, en 1929, pertes : 8 ; sur un effectif de 95 bêtes, en 1930, pertes : 10.

C'est une maladie de pâtures ; on ne la voit pas évoluer sur les sujets élevés en stabulation permanente. Elle frappe des sujets de 2 à 8 ans ; on peut la constater aussi sur des animaux très vieux, 10 à 12 ans. La gestation paraît jouer un rôle favorisant. Elle apparaît généralement après le premier ou le deuxième vêlage.

Cependant, Miess et Trapp, en 1912, ont soutenu que l'entérite paratuberculeuse peut être une maladie d'étable, et que les veaux peuvent se contaminer dès la mamelle au contact des mères infectées, et par la déglutition de litières souillées. Le Professeur Moussu dit qu'en France on ne saurait contester que l'entérite chronique est très rare chez les veaux ; pour ma part, je ne l'ai jamais rencontrée. M. Richart, Directeur des Services Vétérinaires de la Seine-Inférieure, signale dans tous ses rapports annuels que l'entérite chronique est en période d'extension dans tout le département. Bien que les courants commerciaux aient

quelque influence sur la propagation de l'infection, il pense que celle-ci ne peut s'installer durablement qu'en des fermes prédisposées par une déficiencé chimique de leur sol. Elle évolue sur des animaux entretenus dans des fermes dont les terres et les herbages sont décalcifiés et dont l'abreuvement a lieu avec des eaux de mares polluées.

Dans son rapport de 1925, il indique qu'il y a quelques années, l'entérite chronique sévissait aux fermes départementales du Bois de la Ville à Sainte-Marguerite-les-Aumale, et de Melleville. Il a conseillé de surveiller l'abreuvement des animaux, et de désinfecter périodiquement les mares par addition d'eau de Javel, à raison d'un demi-litre par mètre cube de capacité de la mare, de pomper l'eau de la mare dans un bassin métallique réservé à l'abreuvement, de supprimer l'accès des mares aux animaux qui, auparavant, y déversaient leurs déjections en s'y abreuvent.

Simultanément, la désinfection des herbages a été prescrite et exécutée chaque année, par le sulfate de fer (450 kilos par hectare, à répandre en décembre), et par la chaux agissant aussi comme amendement neutralisant l'acidité du sol (1.200 kilos au moins, et plus en cas d'acidité, à répandre en janvier et février, un mois après le sulfate de fer).

La continuité de ces mesures a été accompagnée d'une régression de l'entérite chronique qui faisait plusieurs victimes chaque année au Bois de la Ville, de 1920 à 1924, et d'une amélioration générale de la qualité du troupeau bovin.

Dans son rapport de 1928, M. Richart dit qu'il a

réuni de nombreux résultats analytiques qui motivent sa conception de l'épidémiologie de l'entérite paratuberculeuse des bovins en fonction du milieu local et de ses lacunes culturelles.

M. Lebrun, dans son rapport au Syndicat National sur l'entérite chronique, note qu'on a signalé l'influence des terrains acides, pauvres en calcaires.

Cette opinion n'est pas en contradiction avec les causes étiologiques que nous avons étudiées précédemment.

En effet, nous avons vu que c'était une maladie de pâture, surtout de prairies humides, marécageuses, qui, par leur nature, sont presque toujours acides.

Lorsqu'on l'observe sur des pâturages secs, il y aurait lieu de pratiquer l'analyse des terres, pour savoir si elles ne sont pas acides.

Je rapporte ci-dessous trois observations qui semblent confirmer l'opinion émise par M. Richart.

Chez M. le baron de Ladoucette, à Janval, où la maladie sévissait à l'état enzootique, j'avais préconisé de faire pratiquer l'analyse du sol des herbages situés sur un plateau à sous-sol perméable, afin de rechercher leur acidité. Il me fut répondu que c'était inutile, que les pâtures étaient certainement acides, car l'oseille y poussait. J'ordonnais donc la désinfection au sulfate de fer, à la chaux, cette dernière agissant à la fois comme antiseptique et comme amendement. En même temps, du chlorure de calcium fut administré à tous les bovins. Depuis deux ans que ces mesures ont été prises, je n'ai plus observé aucun cas d'entérite chronique.

Dans cette exploitation, l'abreuvement ne pouvait être incriminé comme moyen de propagation, car il a lieu à l'eau de la Ville.

À la ferme de Florence, où la maladie faisait aussi des ravages, l'on pouvait observer de l'oseille dans les herbages ; les mêmes mesures furent ordonnées avec, en plus, la désinfection de la mare à l'aide de l'eau de Javel, cette dernière ayant été tarie par suite de la sécheresse, fut, par la suite, complètement curée. En 1929, on observe encore une perte et, en 1930, aucune.

À la ferme des Hospices, à Janval, l'analyse des terres des herbages a été pratiquée. Elles furent reconnues acides, sauf celle d'un petit herbage qui fut reconnue neutre.

Conclusion : En l'absence de tout traitement curatif, il y aura donc lieu, lorsqu'on observera la maladie dans une exploitation, de prescrire l'abatage hâtif des malades, et la désinfection des herbages au sulfate de fer, et des eaux de mares polluées par les déjections à l'eau de Javel. On ordonnera, en outre, la désinfection à la chaux, qui agira comme amendement, et pour en connaître la quantité nécessaire, on fera pratiquer une analyse du sol.

IV. — CONCLUSION.

Bref, il paraît aujourd'hui bien prouvé que l'acidité exagérée du sol des prairies est une cause d'infériorité pour l'élevage, par suite de sa répercussion sur la flore et sur la composition minérale des fourrages. Heureusement que l'on peut facilement y remédier, par l'emploi d'amendements calcaires et d'engrais appropriés, en prenant comme base les résultats de l'analyse chimique du sol.

Correction de l'acidité

Emploi des amendements calcaires

Lorsque l'acidification est due à un excès d'humidité et à un manque d'aération du terrain, il faut d'abord procéder à des travaux d'assainissement qui consistent en ouverture de tranchées, en drainages, afin d'abaisser d'une façon suffisante le plan d'eau. Si on laisse subsister une humidité exagérée, il y aura toujours tendance à la formation d'humus acide, quel que soit l'apport d'amendements appropriés.

AMENDEMENTS CALCAIRES

Pour remédier à l'acidité du sol, le cultivateur dispose heureusement d'amendements calcaires, qui ne manquent pas dans notre région normande : chaux, marne ou craie, craie broyée.

Le meilleur mode de récalcification à employer sera évidemment celui qui, pour le prix le plus bas, donnera le meilleur résultat avec le minimum de peine. Il y a donc lieu de comparer :

- 1° Au point de vue chimique et au point de vue physique ;
- 2° Au point de vue rendement agricole ;
- 3° Au point de vue prix ;

4° Au point de vue facilité d'emploi ;

5° Au point de vue sécurité ;

La chaux vive, la chaux éteinte, le marnage ancien système, et le marnage moderne par la craie pulvérisée.

1° *Chaux* :

a) *La chaux vive* ou oxyde de calcium Ca O est de la craie dont, par la cuisson, on a enlevé l'acide carbonique. La bonne chaux vive contient environ 950 kilos d'oxyde de calcium par tonne.

Cet oxyde de calcium, pour agir sur la végétation, doit se transformer en carbonate de chaux $\text{CO}^3 \text{Ca}$, c'est-à-dire reprendre au sol ou à l'air, l'acide carbonique que la cuisson lui a enlevé. Ce qui est un inconvénient, car il est fâcheux d'enlever au sol l'acide carbonique qu'il contient. Ce dernier est en effet utile à la végétation. Si l'on introduit du gaz carbonique en quantité importante dans le sol, on voit les rendements augmenter d'une façon considérable. Des expériences très intéressantes ont été faites à ce sujet, en utilisant les gaz des fours à chaux.

La tonne de chaux vive vaut 110 francs, prix départ.

Au point de vue de l'emploi, on rencontre de grandes difficultés. La chaux vive en roches ne peut être étendue directement sur le sol, on en mettrait trop, et l'on sait que l'excès de chaux vive produit de dangereuses décompositions d'humus et des pertes d'azote importantes.

Il faudrait donc employer la chaux vive pulvérisée ; malheureusement, cette chaux est très dangereuse à manipuler ; elle est extrêmement caustique et brûle

les yeux, la figure, les mains, les vêtements des ouvriers. Elle peut donner des crevasses aux chevaux, et à la moindre pluie, elle brûle les sacs. Le déchargement à la gare, la manutention au magasin et aux champs constituent un problème très ardu.

b) *Chaux éteinte*. — Puisqu'il est très difficile d'employer la chaux vive sur les prairies, lorsqu'on aura affaire à des prairies humides fortement acides, étant donné que c'est la chaux qui produit l'action la plus rapide et la plus favorable, à condition qu'elle ne soit pas employée à dose trop forte, on aura recours, dans ce cas, à la chaux éteinte blutée.

La bonne chaux éteinte blutée ne titre pas plus de 60 % environ de Ca O . Elle a repris un peu d'acide carbonique, pas mal d'eau, c'est de l'hydrate de chaux Ca (OH)^2 .

Elle doit être dans un parfait état de division. La tonne de très bonne chaux éteinte, en se basant sur l'unité de Ca O , si la tonne de chaux vive vaut 110 francs, devrait être payée 75 francs.

A titre d'exemple : les engrais d'Auby offrent dans la région du Nord de la chaux grasse éteinte et pulvérisée à 85 francs la tonne, départ Bavay (Nord), les sacs de 40 à 50 kilos sont facturés à 4 francs, et repris au même prix dans les deux mois. Cette chaux contient au minimum 50 % de chaux assimilable pouvant aller jusqu'à 65 %.

La chaux agricole de Boukincamp coûte 90 francs la tonne ; elle est vendue sans garantie de teneur en Ca O , mais le prospectus indique que sa teneur en Ca O est de 53,50 %.

La rapidité d'action de la chaux éteinte est très grande ; son extrême division facilite sa pénétration à travers le lacs de racines recouvrant le sol des herbages. Cette pénétration sera favorisée par un ou deux hersages, qui ont, en outre, l'avantage d'aérer le sol.

Les doses à employer dépendent du degré d'acidification du sol, c'est-à-dire du besoin en chaux, mais il ne faut pas dépasser certaines limites, sous peine de provoquer un gaspillage de l'humus en réserve.

La chaux qui n'est pas neutralisée de suite en totalité par les acides du sol, agit sur l'humus avec production d'ammoniaque ; les actions microbiennes sont exacerbées, et il peut se produire, lors d'un excès de chaux, une combustion exagérée de matière organique azotée avec une perte d'azote soluble sous la forme nitrique.

En mentionnant les doses d'acidité trouvées dans certaines prairies humifères, nous avons vu que la quantité de chaux pure nécessaire pour neutraliser le sol pouvait s'élever à 3.000 et 4.000 kilos par hectare. Ce qui représente 4.600 kilos et 6.000 kilos pour une chaux éteinte à 65 % de Ca O.

Si on employait d'aussi fortes doses en une seule fois, cela serait nuisible. Il est préférable de répandre la première année 2.000 kilos de chaux par hectare. La neutralisation complète sera poursuivie les années suivantes par de nouveaux apports de chaux.

Lorsqu'un sol de prairie est à la fois fortement acide et pauvre en acide phosphorique, M. Brioux préconise d'utiliser l'acidité existante pour solubiliser des phosphates naturels. En saturant une partie d'acidité, on

enrichit le sol en acide phosphorique. C'est ainsi qu'il a pu, au cours d'essais de laboratoire, montrer qu'une terre humifère fortement acide, rendait soluble dans le citrate d'ammoniaque 50 % du phosphate tricalcique qu'il lui avait incorporé à très forte dose. Pratiquement, les craies phosphatées peuvent être répandues sur les herbages acides et humides, à la dose de 2.000 kilos par hectare ; elles apportent ainsi 3 à 400 kilos par hectare d'acide phosphorique et 1.000 à 1.200 kilos de carbonate de chaux. Pour faciliter leur pénétration, on aura recours à deux hersages. Lorsque l'acidité du sol aura agi suffisamment sur le phosphate, c'est-à-dire au bout d'un an ou deux, on emploiera la chaux.

Pour en terminer avec ce chapitre, nous ne saurions trop recommander de n'employer que des chaux dont la teneur en chaux libre est garantie. Le commerce livrant parfois des produits de mauvaise qualité, dont la teneur en CaO est inférieure à 45 %. MM. Lenglen et Durier en ont vu ne titrant que 25 à 30 %. Ces chaux étant vendues le même prix que celles de bonne qualité, leur emploi est d'autant plus onéreux qu'il en faut beaucoup plus que la quantité indiquée par l'analyse, pour arriver à une neutralisation satisfaisante du sol.

2° *Marne.*

Lorsque le cultivateur peut extraire facilement de la marne sur sa propriété, ou à proximité, son emploi est beaucoup plus économique que celui de la chaux, mais son action est beaucoup plus lente et moins régulière, bien qu'elle soit ordinairement répandue à dose beaucoup plus élevée.

La marne ne se délite qu'assez lentement au cours de l'hiver, et les fragments plus ou moins gros qui en résultent ont, vis-à-vis de l'acidité du sol, une action beaucoup moins énergique que celle de la chaux éteinte. S'il gèle peu, le calcaire ne se délite presque pas, il se durcit, et il aura bien du mal à se déliter entièrement, son action récalcifiante sera donc nulle.

Le marnage devient de plus en plus difficile, par suite du manque d'ouvriers spécialisés. Il n'est possible que lorsqu'on est propriétaire de la terre ou en possession d'un bail de longue durée ; enfin, lorsqu'il s'agit de cultures, il n'est pas adapté aux nouvelles méthodes. En effet, si l'hiver qui suit le marnage est rigoureux, la craie se délite en masse, et l'excès de carbonate de chaux peut nuire à la végétation. La plante qui se trouve dans le rayon d'un gros morceau de marne, est appelée à s'étioler. Enfin, ces morceaux de calcaire gênent pour la culture des plantes sarclées.

On marne généralement à la dose de 30 tonnes à l'hectare, ce qui est trop ; en effet, le pH optimum des herbages paraît être compris entre 6,5 et 7. Une dose de 10 à 15 mètres cubes de marne par hectare sera donc suffisante. Mieux vaut renouveler l'opération tous les dix ans.

3° *Craies broyées.*

L'emploi des craies pulvérisées constitue un moyen terme entre le chaulage et le marnage.

Lorsqu'elles sont préparées à l'aide de bonnes craies tendres de la région normande, elles peuvent contenir, suivant leur degré de siccité, de 85 à 95 % de carbonate de chaux pur, correspondant de 47 à 53 % de

chaux (CaO). En se basant au point de vue valeur argent sur l'unité de CaO , la tonne de craie pulvérisée devrait être payée 63 francs départ. Or, on trouve dans le commerce, à des prix variant de 35 à 45 francs départ, ce qui permet de réaliser une économie sérieuse. Les craies broyées agissent moins brutalement que la chaux vis-à-vis des matières organiques du sol.

M. Brioux a montré que leur rapidité d'action, en ce qui concerne la saturation de l'acidité, est proportionnelle à leur degré de finesse.

En général, pour être suffisamment actives, les craies broyées doivent renfermer au moins 60 % de poudre fine, passant au tamis n° 60, et la totalité doit passer aux tamis n° 8 ou n° 12 (8 à 12 mailles au pouce linéaire).

Si l'on broie des calcaires plus durs que la craie, leur finesse devra être beaucoup plus grande. On n'a pas intérêt à broyer des calcaires trop durs, car leur solubilité carbonique est insuffisante.

C'est ce qu'ont montré MM. Lenglen et Durier, et les essais réalisés par M. Brioux, à ce sujet, à la Station Agronomique de Rouen. L'action neutralisante des poudres étant en rapport avec leur solubilité carbonique, les calcaires durs, pour avoir une action neutralisante satisfaisante, devront être réduits à l'état de poudre impalpable, ce qui n'est pas économique.

La dose de craie broyée à répandre par hectare, est fonction de sa teneur en chaux.

Les craies broyées suffisamment riches apportent en général 90 à 95 % de carbonate de chaux, correspondant à 50-53 % de chaux. La quantité théorique à

employer sera donc, au minimum, égale à deux fois, le besoin en chaux déterminé par la méthode Hutchinson.

Pratiquement, pour remédier aux causes naturelles d'acidification et de déperdition de la chaux qui continuent à agir, le chiffre précédent est augmenté d'au moins 50 %. On dépassera rarement la dose de 3.000 kilos par hectare, que l'on répand aussi uniformément que possible, au début de l'hiver.

On peut l'épandre à l'aide de pelles, ou à l'aide d'un semoir ; dans ce dernier cas, l'épandage se fait parfaitement, mais on ne peut guère dépasser 2.500 kilos à l'hectare, ce qui est insuffisant.

La craie pulvérisée est donc la méthode de récalcification la plus facile et la plus économique.

Comment se procurer de la craie pulvérisée ?

En Seine-Inférieure, où la craie est abondante, le problème est simple à résoudre. On n'aura qu'à établir des centres de pulvérisation. L'ennemi des broyeurs étant le calcaire humide, on a intérêt à rechercher des carrières exposées au Sud.

Un centre comprend un broyeur, un moteur et un hangar, pour abriter ces deux instruments. M. de Guillebon estime qu'un centre pouvant broyer 2.000 tonnes par an, pouvant être établi par un cultivateur pour ses propres besoins ou ceux de ses voisins, revient à 25.000 francs, les ouvriers de la ferme pouvant tirer la pierre l'hiver et le mécanicien du tracteur pouvant conduire le chantier. Le tracteur servant à actionner le broyeur.

Un centre plus important pouvant broyer 3.000

tonnes par an, peut revenir à 50.000 francs. Il comprend un broyeur avec élévateur, un moteur électrique de 15 CV ou un moteur de 20 CV, un hangar, des rails, des wagonnets.

Enfin, un centre industriel comprenant un pré-broyeur pour réduire la craie à la grosseur du poing, un pulvérisateur avec élévateur, un moteur électrique de 25 CV ou un moteur à gaz pauvre de 35 CV, un hangar, un raccordement au chemin de fer, ayant un débit de 5.000 tonnes par an, exige un capital de 200.000 francs.

Un pareil centre fonctionne à Criel-sur-Mer, près de Dieppe.

CHAULAGES ET MARNAGES D'ENTRETIEN

Une fois le sol neutralisé, il faut avoir soin de ne pas laisser réapparaître l'acidité.

Il y a lieu de pratiquer, à intervalles réguliers, des chaulages ou des marnages d'entretien, apportant une quantité de chaux équivalente à celle qui est entraînée chaque année par les eaux d'infiltration ou enlevée par les récoltes. Sous notre climat, M. Brioux estime qu'une dose de 500 kilos de bonne chaux agricole est suffisante. Sur les prairies ayant tendance à s'acidifier, le mieux est de répandre tous les deux ans, 1.000 kilos de chaux (à 65 ou 70 % d'oxyde de calcium) ou 1.500 kilos de craie broyée riche.

Ces amendements calcaires n'empêchent pas l'emploi d'engrais appropriés : scories de déphosphoration et sels de potasse, dont l'action s'exerce au maximum dans les sols pourvus de chaux en quantité suffisante.

Conclusions

Pour conclure, nous ne saurions trop engager les cultivateurs à recalcifier, que ce soit avec la chaux vive, la chaux éteinte, le marnage ou la craie broyée. En effet, en ce temps de crise, la France a besoin de produire beaucoup et bon. Pour cela, non seulement il y a lieu de rendre au sol l'acide phosphorique, la potasse et l'azote si coûteux, mais il faut lui rendre également l'élément le moins cher, mais tout aussi indispensable : « la Chaux ».

Vu : Le Directeur
de l'Ecole Vétérinaire de Lyon,
Ch. PORCHER.

Vu : Le Doyen,
JEAN LÉPINE.

Le Professeur
de l'Ecole Vétérinaire,
D^r DOUVILLE.

Le Président de la Thèse,
D^r Albert MOREL.

Vu et permis d'imprimer

LYON, le 30 Avril 1931.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
JOSEPH GHEUSI.

Bibliographie

BRIOUX (Ch). — L'acidité du sol des prairies et les amendements calcaires. *Bulletin de la Société Centrale d'Agriculture de la Seine-Inférieure*, 4^e trimestre 1929.

— Une bonne méthode de triage des sols acides. *C. R. Ac. d'Agr.*, 1924, n^o 33, page 955.

— Les terres acides. Méthodes de triage. Besoins en chaux et pH. *Annales de la Science agronomique françaises et étrangère*, 1925, page 422.

— Les besoins en chaux des sols acides. *Annales Science agronomique*, janvier-février 1927.

ROUX (Eug.) et BRIOUX (Ch.). — Le besoin en chaux des sols acides. *Académie d'Agriculture*, séance du 20 février 1929.

MICHAELIS. — *Manuel de techniques de physico-chimie*.

Mesure du pH. Rhône-Poulenc, éditeur, Paris, 1931.

Applications de l'électrométrie à l'analyse chimique. Rhône-Poulenc, juillet 1927.

Nécessaire colorimétrique Bruère. Rhône-Poulenc.

- MOUSSU (G.) et MOUSSU (Raymond). — *Traité des maladies du bétail* (Asselin et Houzeau).
- BAILLON. — *Etiologie et traitement de la cachexie osseuse bovine.*
- TGETGEL, SCHWEIZER. — L'ostéomalacie dans l'Engadine. *Archiv. für. Tierheilkunde*, mars et avril 1928. (Extraits dans *Revue générale de M. V.*, du 15 mars 1929.)
- LIÉGEOIS. — Equilibre acide, base et traitement du rachitisme. *Annales de médecine vétérinaire*, juin 1928.
- Equilibre acide, base et traitement du rachitisme animal. *Annales de médecine vétérinaire*, juin 1928. (Extraits *Revue vétérinaire et Journal de médecine vétérinaire et de zootechnie* de juin 1930.)
- MEIGS (Edward B.). — Les déficiences alimentaires dans l'étiologie de l'avortement et de la stérilité des vaches laitières. (*Journal of the American Veterinary medical Association*. Mars 1927. Extraits dans *Revue Générale de Médecine Vétérinaire* du 15 juin 1929.)
- NANNINGER (R.). — Les causes de l'entérite des nouveaux nés. (*Deutsche tierärztliche. Wochenschrift*, 10 novembre 1928. Extraits dans *Revue Générale de Médecine vétérinaire* du 15 juillet 1929.)
- SJOLLEMA. — Nature et traitement de la fièvre vitulaire. (*Deutsche tierärztlitche Wochenschrift*. 12 janvier 1929. Extraits dans *Revue Générale de Médecine vétérinaire* du 15 avril 1930.)

— Sur la nature et le traitement de la fièvre puerpérale. (*Tijdschrift voor Diergenees Kunde*, 15 octobre, 1^{er} et 15 novembre, 1^{er} décembre 1928. Extraits dans *Revue Générale de Médecine vétérinaire* du 15 mai 1929.)

DRYERRE (Henry) et GREIG (Russel). — Récentes études sur l'étiologie de la fièvre vitulaire. (Dumfriès and Galloway Veterinary medical Association. Séance du 7 juillet 1928. Extraits dans *Revue Générale de Médecine vétérinaire* du 15 octobre 1928.)

FISH (Pierre A.). — La physiologie de la fièvre vitulaire. (*Journal of the American veterinary Association*. Mai 1928. Extraits dans *Revue Générale de Médecine vétérinaire* du 15 janvier 1930.)

STINTSON (O.). — Une nouvelle communication sur le traitement de la fièvre vitulaire, par le calcium. (*The veterinary Record*. Vol. IX, n° 35, 31 août 1929, page 741. Extraits dans les *Cahiers de Médecine vétérinaire*, n° 10, juin 1930. Edition Rhône-Poulenc.)

RICHART (A.). — *Rapports sur les opérations du service sanitaire vétérinaire du Département de la Seine-Inférieure, de 1921 à 1929.*

CAYEUX. — *Corrélation entre la solubilité carbonique des calcaires broyés et leur action neutralisante sur les sols acides.* (Note présentée à l'Académie d'Agriculture, 26 mars 1930.)

GUILLEBON (DE). — La pratique du broyage de la
Marne. (*Bulletin de la Société Centrale d'Agricul-*
culture de la Seine-Inférieure, premier trimes-
tre 1928.)

TABLE DES MATIÈRES

<i>L'acidité du sol des prairies et ses conséquences..</i>	7
<i>Besoin en chaux des sols acides.....</i>	13
<i>Conséquences de l'acidité du sol des prairies....</i>	49
<i>Correction de l'acidité. Emploi des amendements calcaires</i>	73
<i>Conclusions</i>	83
<i>Bibliographie</i>	85

ERRATA

Figure page 26, *lire* pile étalon *au lieu de* pole Nalon

— — *lire* pile de Concentration *au lieu de* pole
de Concentration



IMP. BOSC FRÈRES & RIOU

42, QUAI GAILLETON

LYON



